

# 電線の一・二次被熱条件別サンプル集



平成21年2月

独立行政法人 製品評価技術基盤機構



## まえがき

私たちの生活の場には、多種多様な製品が流通し、身近なところで製品に関する事故が起こっています。独立行政法人製品評価技術基盤機構(NITE)は、日常生活で起こるこれらの事故を防ぎ、国民のくらしの安全と安心を守るために、経済産業省所管の消費生活用製品に係わる事故情報を消費者、消費生活センター、消防・警察、業界団体などの協力を得て収集し、調査・分析を実施しております。

また、その調査結果は、NITEホームページや事故情報収集制度報告書として広く提供、また、公表することにより、製品事故の再発・未然防止に繋げているほか、製品設計・製造方法などの改善命令、市場に出回った製品の回収命令などの法律に基づく国の措置に反映してきているところであります。

NITEでは、事故情報に基づき製品事故の再発・未然防止の観点から原因調査を行い、必要により原因究明のためのテストを実施しておりますが、NITE北関東支所では、家電製品の発火・燃焼事故の原因究明に必要となる、発火箇所を科学的に推定する技術等の開発を大学及び企業等の専門家の助言を得て実施してきております。

これらの開発した技術については、技術マニュアルを作成し、平成17年8月に「家電製品の発火事故原因究明マニュアルⅡ」としてまとめ、関係機関に広く提供し活用いただいておりますが、発火事故原因の究明においてはできるだけ多くの周辺情報を集める必要があることも改めて認識してきているところです。

本サンプル集は、火災現場などでも焼け残ることが多い電線に着目し、こうした焼損電線の観察及び解析を行う際の参考資料として用いることを目的として、実験的に被熱条件を与えて痕跡サンプルを作製し、その特徴を抽出、整理するとともに、痕跡写真を掲載してとりまとめたものです。

製品事故の再発・未然防止のための原因究明の際に、技術参考資料として広くご活用いただければ幸いです。

## 目次

	頁
<b>&lt;本 文&gt;</b>	
1. 適用範囲 .....	1
2. 用語及び定義 .....	1
2.1 痕跡サンプル写真 .....	1
2.2 一次被熱 .....	1
2.3 二次被熱 .....	1
2.4 火炎曝露 .....	1
3. 痕跡の区分、記号、種類及び特徴 .....	1
3.1 主として一次被熱条件の痕跡 .....	1
3.2 主として二次被熱条件の痕跡 .....	1
3.3 一次被熱条件及び二次被熱条件の両方で 認められた痕跡 .....	1
4. 痕跡サンプル写真集 .....	2
5. 痕跡サンプルの作製方法及び解析結果 .....	2
6. 参照方法 .....	2
6.1 A 1～A 4の記号で表す痕跡が認められる場合 .....	2
6.2 B 1～B 3の記号で表す痕跡が認められる場合 .....	2
6.3 C 1又はC 2の記号で表す痕跡が認められる場合 .....	2
7. 痕跡サンプル写真集の見方 .....	3
<b>&lt;附属資料 1 痕跡サンプル写真集&gt;</b>	
痕跡サンプル インデックス	
A 1 線径の減少 .....	1
A 2 表面荒れ .....	20
A 3 心線表面の銅化合物 .....	39
A 4 素線間の銅化合物 .....	49
B 1 折損、亀裂、粒界割れ .....	66
B 2 線間溶出 .....	78
B 3 線間溶着 .....	83
C 1 緑 青 .....	98
C 2 ルビー色の生成物 .....	116

## <附属資料2 痕跡サンプルの作製方法及び解析結果>

1. 試料	1
2. 作製方法	1
2.1 一次被熱サンプル	1
2.2 火炎曝露	2
2.3 二次被熱サンプル	3
3. 解析方法	3
4. 解析結果	4
4.1 線径の減少	6
4.2 表面荒れ	7
4.3 心線表面の銅化合物(試料No.1)	9
4.4 素線間の銅化合物(試料No.2～4)	10
4.5 折損、亀裂、粒界割れ	12
4.6 線間溶出	15
4.7 線間溶着	15
4.8 緑青	16
4.9 ルビー色の生成物	17
5. まとめ	19



# 電線の一・二次被熱条件別サンプル集

本サンプル集は、家電製品の発火事故原因究明において、焼損した電線各部の観察及び解析を行う際の参考資料として用いるものである。

## 1. 適用範囲

本サンプル集は、絶縁被覆が主としてポリ塩化ビニル<sup>注1)</sup>、公称断面積が0.75~1.25mm<sup>2</sup>程度の撚線<sup>注2)</sup>、又は線径が1.6~2.6mm程度の単線であって、主として一般住宅火災<sup>注3)</sup>において回収されたものに適用する。

注1：本サンプル集に掲載する痕跡の作製に用いた試料電線の被覆が、主にポリ塩化ビニルであり、一部クロロプレンゴム、耐熱性ポリエチレンであることから、これら以外の被覆電線であって、本サンプル集に掲載の痕跡サンプル写真と明らかに異なる特徴を示すものは対象外とし、酷似の特徴を示すものは参考考察に留めるものとする。

注2：撚線の素線径及び素線数は、本サンプル集に掲載する痕跡の作製に用いた試料電線が、素線径0.18mm×30本であることから、これよりも極端に細い素線径又は太い素線径のもの、並びに極端に少ない素線数又は多い素線数のものであって、本サンプル集に掲載の痕跡サンプル写真と明らかに異なる特徴を示すものは対象外とし、酷似の特徴を示すものは参考考察に留めるものとする。

《備考》 絶縁被覆の分解によって発生する腐食性ガス、酸化・還元性ガス等の種類や量は、焼損電線の表面荒れの程度、素線間化合物の組成・量、酸化層の深さ等のほか、毛細管現象によって撚線内部に浸透し、また、ヒートサイクルによって浸透位置や濃度を変えながら素線に作用し、焼損電線の特有形状等の形成に大きな影響を及ぼしていると考えられるため、注1、2において対象外としているものである。

注3：火災時の被熱時間を各種工法住宅の火災実験における温度変化<sup>※)</sup>からみると、軽量PC住宅(床上180cm)で800~900℃の継続時間約10分、在来木造住宅(床上60cm)で700~800℃の継続時間約10分、2"×4"一般住宅(床上210cm)で800~1000℃の継続時間約5分、2"×4"公住形住宅(天井面下60cm)で700~800℃の継続時間約7分などであり、本サンプル集に掲載する痕跡の加熱実験は、一般住宅火災の条件としてこの火災温度・時間を想定して設定していることから、大型ビル火災や工場・化学プラントなどの大規模火災による焼損電線は対象外とする。

※)：日本火災学会：火災便覧第3版,1997

## 2. 用語及び定義

本サンプル集において用いる用語及びその定義は以下のとおりとする。

2.1 痕跡サンプル写真 附属資料1に掲載した写真で、5. 痕跡サンプルの作製方法によって作製した痕跡の特徴を抽出・整理したものをいう。

2.2 一次被熱 出火前の異常発熱による電線の一次的な被熱をいう。

2.3 二次被熱 火災の炎や輻射熱による電線の二次的な被熱をいう。

2.4 火災暴露 一次被熱試料を模擬火災実験の火炎に暴露させることをいう。

## 3. 痕跡の区分、記号、種類及び特徴

本サンプル集に掲載する痕跡サンプル写真の区分、記号、種類及び特徴は、表1に示すとおりで、区分、記号の概要は以下のとおりである。

### 3.1 主として一次被熱条件の痕跡

A1~A3の記号で表す痕跡は、5. に示すサンプル作製実験のうち、主として一次被熱条件で認められ、火災暴露によっても容易に焼失せず、二次被熱条件では特殊条件下でないと生じにくいと考えられた<sup>注4)</sup>ものである。

注4(二次被熱条件では特殊条件下でないと生じにくいと考えられた)：

例えば、二次被熱サンプルにおいて著しい線径の減少が認められたのは、電気炉加熱のうち400℃60分及び600℃30分以上の条件であり、各種工法住宅の火災温度・時間<sup>注3)</sup>からみれば一般的な住宅火災では想定され難い長時間の加熱条件設定においてのみであり、その他の電気炉加熱条件、クリブ及びバーナによる加熱条件では認められなかった。その他、表面荒れ、折損、線間溶出、線間溶着でも類似の傾向が認められた(附属資料2の4頁「表4 解析結果の概要」参照)。

### 3.2 主として二次被熱条件の痕跡

B1~B6の記号で表す痕跡は、5. に示すサンプル作製実験のうち、主として二次被熱条件で認められ、一次被熱条件では認められなかったものである。

### 3.3 一次被熱条件及び二次被熱条件の両方で認められた痕跡

Cの記号で表す痕跡は、5. に示すサンプル作製実験のうち一次被熱条件及び二次被熱条件の両方で認められたものである。

表1 痕跡の区分、記号、種類及び特徴

区分	記号	種類	特徴
主として 一次被熱条件 の痕跡	A1	線径の減少	銅線の線径が著しく減少した状態。 撚り線試料では断線部に向かってテーパ状に痩せた状態も含む。
	A2	表面荒れ	銅線の表面が著しく凸凹に荒れた状態。
	A3	心線表面の 銅化合物	単線試料で銅線の表面に層状に化合物が生じている状態。
	A4	素線間の銅化合物	撚り線試料で素線同士の間には化合物が生じている状態。
主として 二次被熱 の痕跡	B1	折損、亀裂、 粒界割れ	折り曲げようとする就容易に折れたり内部の銅線表面に亀裂が生じたりする状態。また、銅線の断面を観察した際に結晶粒同士の境界で割れが生じている状態。
	B2	線間溶出	外観又は断面観察で銅が素線外に溶出しているのが観察される状態。
	B3	線間溶着	二次被熱サンプルの撚り線試料で、部分的に素線同士が溶着して素線の分離が困難になっている状態。
一次及び二次 被熱条件の 痕跡	C1	緑青	発火後の断線部近傍、火炎曝露後の電線表面に生じる緑青。
	C2	ルビー色の生成物	銅線表面に生じた亜酸化銅と考えられるガラスのような透明感のある赤い層。

#### 4. 痕跡サンプル写真集

附属資料1に示す。

#### 5. 痕跡サンプルの作製方法及び解析結果

附属資料2に示す。

#### 6. 参照方法

本痕跡サンプル写真の参照方法は、以下に示すとおりである。

参照に際しては、必ず、周辺可燃物等の配置状況、事故発生前の時系列情報、火災発生時の状況等の情報を入手し、これらの状況証拠と照らし合わせて総合的に判断する必要がある。

##### 6.1 A1～A4の記号で表す痕跡が認められる場合

当該痕跡の発生部位が、異常発熱が疑われる局所的な箇所であって、他の状況証拠との一致がみられれば、当該痕跡部位が異常発熱状態にあったとの推定に繋がる。

他方、当該痕跡が局所的でなく広範囲に観察される場合には、慎重に他の状況証拠と照らし合わせ、特殊条件下<sup>注4)</sup>の火災によって生じた可能性を疑う必要がある。

##### 6.2 B1～B3の記号で表す痕跡が認められる場合

当該痕跡が広範囲に観察され、他の状況証拠との一致がみられれば、当該痕跡は火災時の火炎によって生じたとの推定に繋がる。

なお、痕跡サンプルの作製条件との比較により、火災現場での大よその被熱条件推定に繋がる場合も考えられる。

##### 6.3 C1～C2の記号で表す痕跡が認められる場合

当該痕跡のみによって一・二次被熱の判断はできない。

## 7. 痕跡サンプル写真集の見方

以下の図にサンプル集の見本を示す。

**【ラベル】**  
表 1 に示した痕跡の記号及び種類のほか、被熱条件及び痕跡の出現性を表す記号を記載。  
ラベルの色は、赤が一次被熱、オレンジは火炎曝露、青は二次被熱をそれぞれ示す。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件	出現性
A1	線径の減少	A1-1	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★

試料: No. 1 (VVF 1.6φ)      備考: 電流負荷9.5A 端子台座金端部で溶断  
発火までの経過(概略)

1 cye ~	336 cye ~	337 cye ~	446 cye ~	447 cye ~	521 cye ~	521 cye ~
38 °C	64 °C	105 °C	122 °C	365 °C	437 °C	521 °C

<火炎曝露時の温度推移>

参考データ

**【参考データ】**  
試料の種類、サンプル作製条件。  
一次被熱サンプルについては、サンプル作製の経過(概略)。二次被熱サンプルについては、作製時の炉内温度推移などを記載。

写真A1-1-1

写真A1-1-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後の状態。断線部から28mm付近で著しく線径が減少している。

**【痕跡写真】**

痕跡の特徴を解説

図 痕跡サンプル写真ページの見本

### <痕跡の出現性>

痕跡サンプル写真のラベル右に付記した★印は、実験データ及び「各種工法住宅の火災温度・時間」<sup>注3)</sup> から、主観的にはあるが出現性の予測を参考までに示したもの。

- ★★★ よく観察される
- ★★ 希に観察される
- ★ 特殊条件下<sup>注4)</sup> でないと観察されない



附属資料 1

痕跡サンプル写真集



# 痕跡サンプルインデックス

記号	痕跡の種類	サンプルNo.	試料	被熱条件	痕跡の出現性	頁
A1	線径の減少	A1-1	No.1 VVF 1.6φ	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	1
		A1-2	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	3
		A1-3	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良)	★★★	6
		A1-4	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良)	★★	8
		A1-5	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★	9
		A1-6	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★	10
		A1-7	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	11
		A1-8	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	12
		A1-9	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	13
		A1-10	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	14
		A1-11	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	15
		A1-12	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	16
		A1-13	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	17
		A1-14	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	18
		A1-15	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	19
A2	表面荒れ	A2-1	No.1 VVF 1.6φ	一次被熱(接続不良)	★★★	20
		A2-2	No.1 VVF 1.6φ	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	22
		A2-3	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(過電流) → 火炎曝露	★★★	24
		A2-4	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(過電流)	★★★	26
		A2-5	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(過電流) → 火炎曝露	★★★	28
		A2-6	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	31
		A2-7	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★	33
		A2-8	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★	34
		A2-9	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	35
		A2-10	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	36
		A2-11	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	37
		A2-12	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	38
A3	心線表面の銅化合物	A3-1	No.1 VVF 1.6φ	一次被熱(接続不良)	★★★	39
		A3-2	No.1 VVF 1.6φ	一次被熱(接続不良)	★★★	42
		A3-3	No.1 VVF 1.6φ	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	44
		A3-4	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★	47
A4	素線間の銅化合物	A4-1	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(過電流)	★★★	49
		A4-2	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良)	★★★	52
		A4-3	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(過電流) → 火炎曝露	★★★	54
		A4-4	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(過電流)	★★★	56
		A4-5	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良)	★★★	58
		A4-6	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	60
		A4-7	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	63
		A4-8	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★★	64
		A4-9	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★	65

記号	痕跡の種類	サンプルNo.	試料	被熱条件	痕跡の出現性	頁
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-1	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★★★	66
		B1-2	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★★	67
		B1-3	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★★	68
		B1-4	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	69
		B1-5	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(バーナ加熱)	★★★	71
		B1-6	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(バーナ加熱)	★★	72
		B1-7	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	73
		B1-8	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★★	74
		B1-9	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	75
		B1-10	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★★	76
B2	線間溶出	B2-1	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★★	77
		B2-2	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★★	78
		B2-3	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★★	80
B3	線間溶着	B3-1	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	82
		B3-2	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(バーナ加熱)	★★★	83
		B3-3	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(バーナ加熱)	★★	84
		B3-4	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★★	85
		B3-5	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	86
		B3-6	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	87
		B3-7	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(バーナ加熱)	★★★	88
		B3-8	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★★	89
		B3-9	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	90
		B3-10	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	91
		B3-11	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(バーナ加熱)	★★	92
		B3-12	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(バーナ加熱)	★★	93
		B3-13	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★★	94
		B3-14	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	95
		B3-15	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	96
C1	緑青	C1-1	No.1 VVF 1.6φ	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	97
		C1-2	No.1 VVF 1.6φ	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	99
		C1-3	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	101
		C1-4	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(過電流) → 火炎曝露	★★★	103
		C1-5	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	105
		C1-6	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(過電流) → 火炎曝露	★★★	107
		C1-7	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	109
		C1-8	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	111
		C1-9	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	112
		C1-10	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	113
		C1-11	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	114
C2	ルビ一色の生成物	C2-1	No.1 VVF 1.6φ	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★★	115
		C2-2	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良)	★★	117
		C2-3	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露	★★	118
		C2-4	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	120
		C2-5	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(クリブ炉加熱)	★★★	121
		C2-6	No.1 VVF 1.6φ	二次被熱(電気炉加熱)	★★	122
		C2-7	No.2 VFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	123
		C2-8	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	124
		C2-9	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	125
		C2-10	No.3 NNFF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	126
		C2-11	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★	127
		C2-12	No.4 EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup>	二次被熱(電気炉加熱)	★★★	128

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-1	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 1 (VVF 1.6φ)

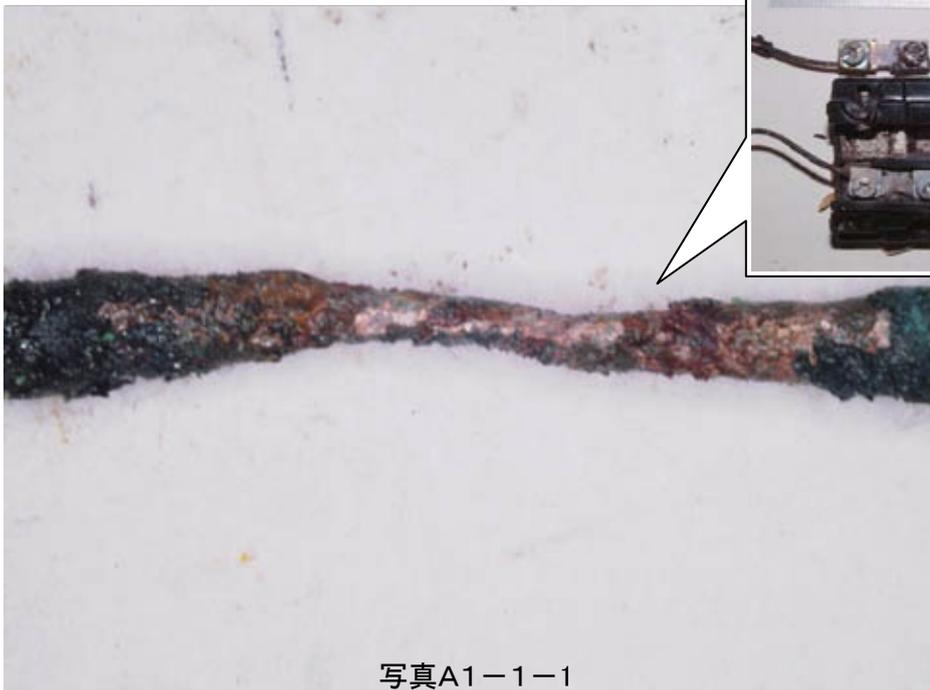
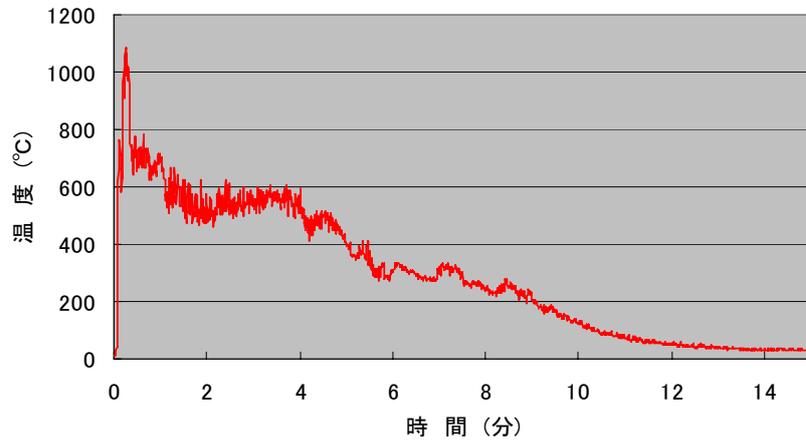
備考: 電流負荷9.5A 端子台座金端部で溶断

発火までの経過(概略)

1 cyc ~ 336 cyc	337 cyc ~ 446 cyc	447 cyc ~ 521 cyc	521 cyc
38 °C ~ 64 °C	105 °C ~ 122 °C	365 °C ~ 437 °C	溶断

<火炎曝露時の温度推移>

参考  
データ



写真A1-1-1

写真A1-1-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後の状態。  
断線部から28mm付近で著しく線径が減少している。



写真A1-1-2



写真A1-1-3

写真A1-1-2は、火炎曝露後の外観。表面の黒色層は加熱によって酸化が進み質感に変化が見られ、脱落した部分も見られるが、全体のシルエットに大きな変化はなく火炎曝露前の状態をほぼどめていた。写真A1-1-3は、A1-1-2から表面に生じた黒色の酸化層を一部除去した状態。いずれの写真も上側は新品試料。

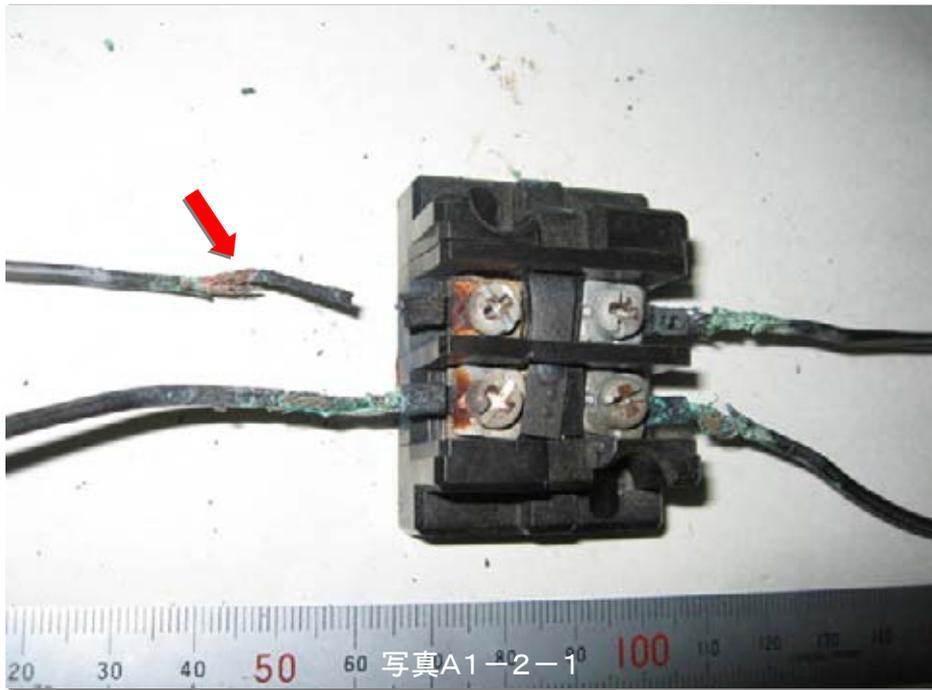
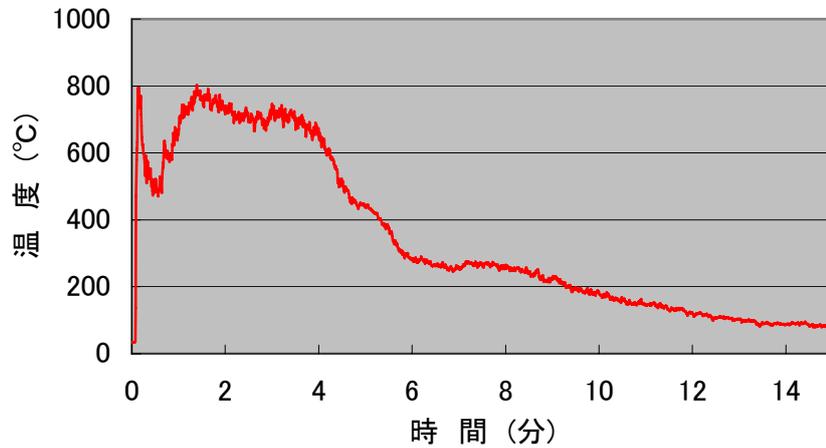
記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-2	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 2 (VFF 0.75mm<sup>2</sup>) | 備考: 電流負荷6.7~12.4A Y端子かしめ部出口で溶断  
 発火までの経過(概略)

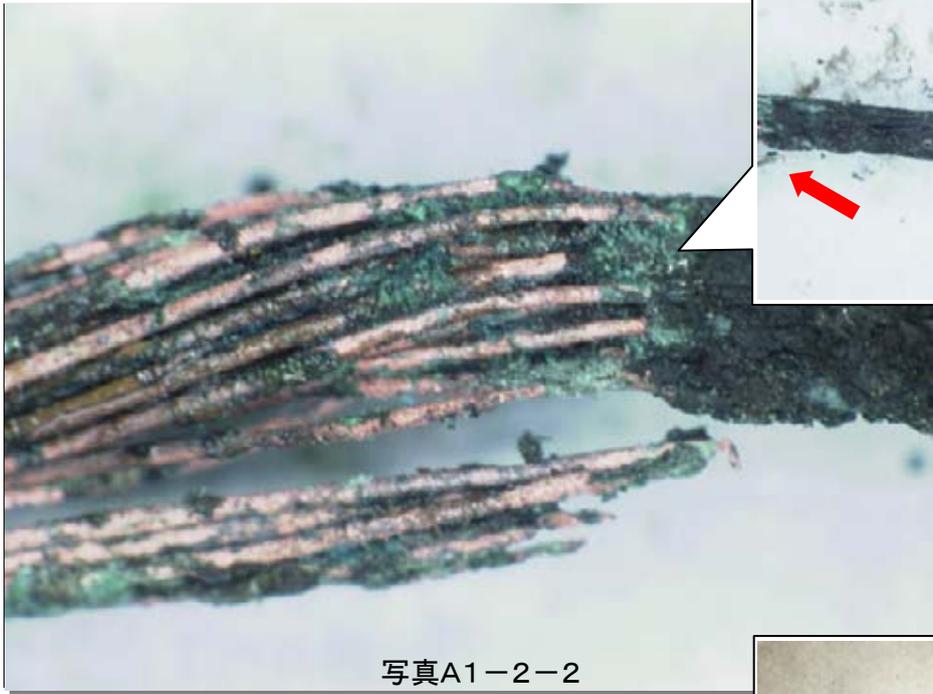
1 cyc ~ 287 cyc	288 cyc ~ 1127 cyc	1128 cyc ~ 1821 cyc	1822 cyc ~ 2206 cyc	2207 cyc ~ 2207 cyc
102 °C ~ 146 °C	56 °C ~ 151 °C	92 °C ~ 215 °C	205 °C ~ 232 °C	溶断

<火炎曝露時の温度推移>

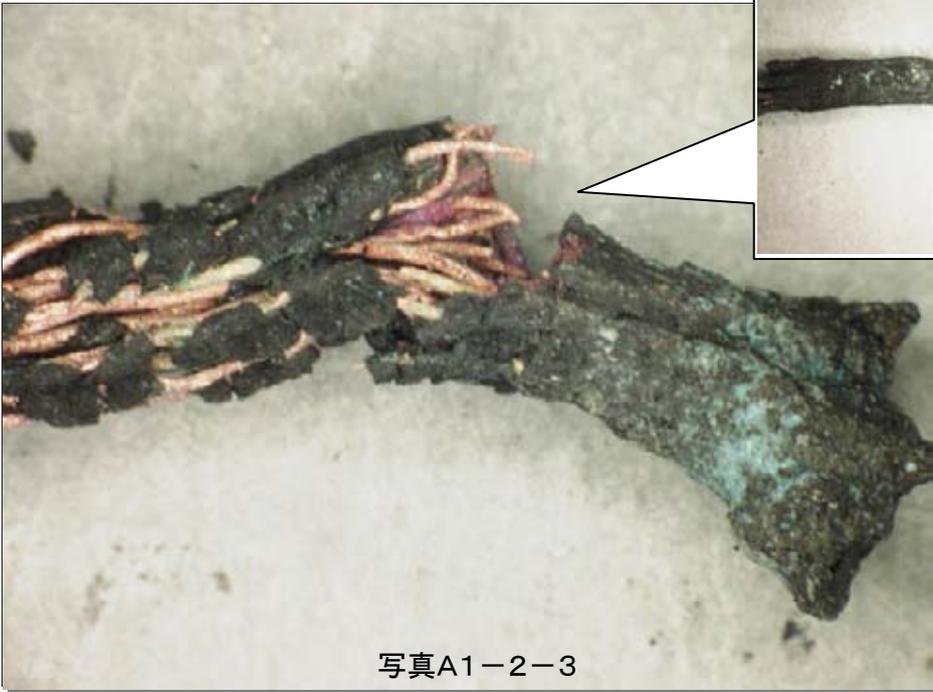
参考  
データ



写真A1-2-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後の外観。断線部から約13mmは炭化した被覆と銅化合物で覆われ、素線の様子は観察不能。  
 矢印部分を写真A1-2-2で拡大。



写真A1-2-2



写真A1-2-3

写真A1-2-2は、一次被熱(接続不良)条件による発火後の断線部。テーパー状に痩せた素線が観察された。外観観察時に画像解析から求めた線径は、0.09mm程度であった。  
写真A1-2-3は、写真A1-2-2の断線部を火炎曝露後に内部観察したもの。内部からテーパー状に痩せた素線が現れた。線径及びテーパー状に痩せた状態は火炎曝露前の状態をほぼとどめていた。



写真A1-2-4

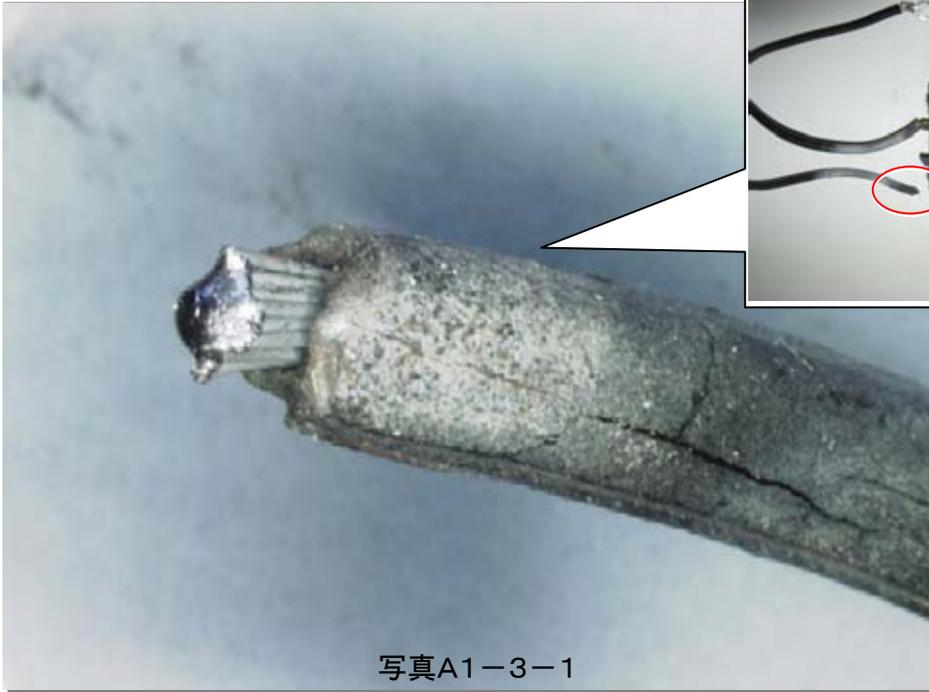


写真A1-2-5

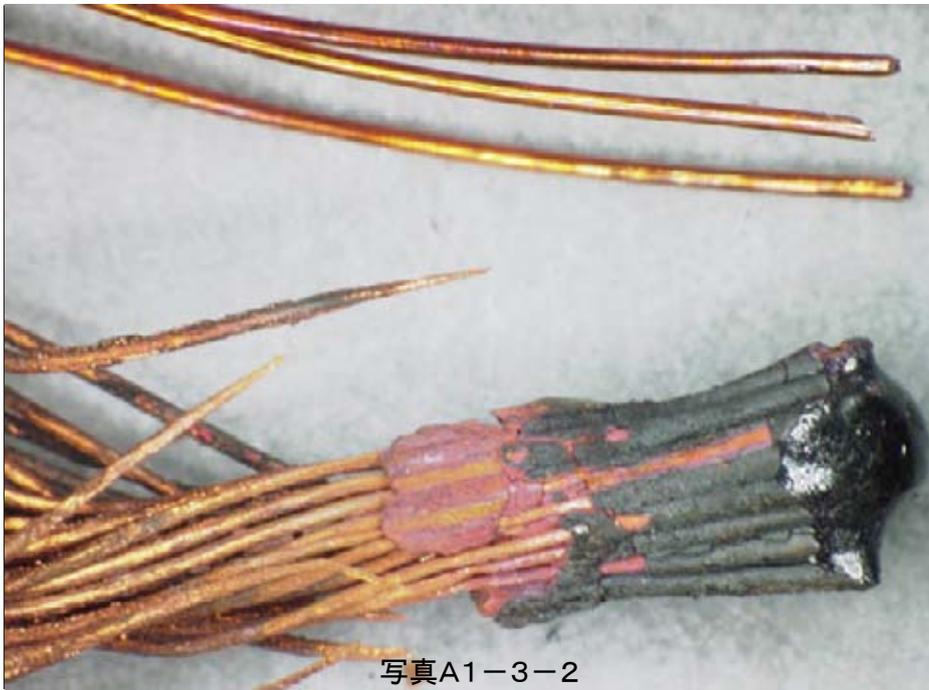
写真A1-2-4は、写真A1-2-3を更に拡大したもので、写真A1-2-5は、その断線部先端の断面。素線の形状が崩れて線径が著しく減少している。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-3	一次被熱(接続不良) ★★★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )		備考: 電流負荷7.7~12A Y端子かしめ部出口で溶断 発火までの経過(概略)									
	1 cyc 61 °C	~	887 cyc 135 °C	888 cyc 77 °C	~	1871 cyc 109 °C	1872 cyc 121 °C	~	2255 cyc 159 °C	2256 cyc 283 °C	~	2373 cyc 332 °C



写真A1-3-1



写真A1-3-2

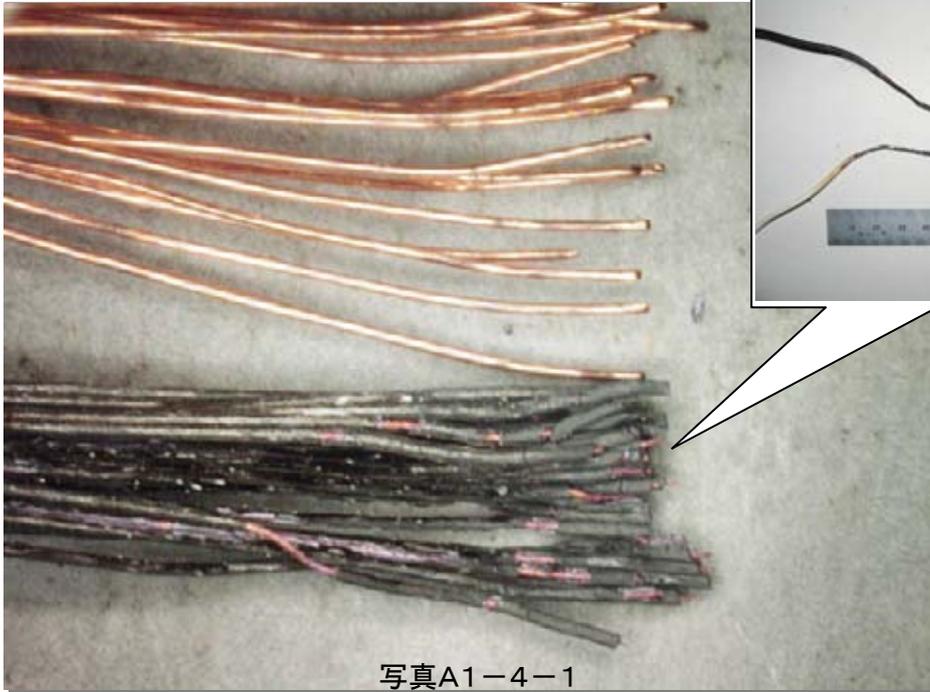
写真A1-3-1は発火後の断線部。  
 写真A1-3-2は同部近傍表面の酸化層を除去した内部の素線の状態を示すもので、鋭くテーパー状に  
 瘦せた素線が見られる。上側は新品試料。



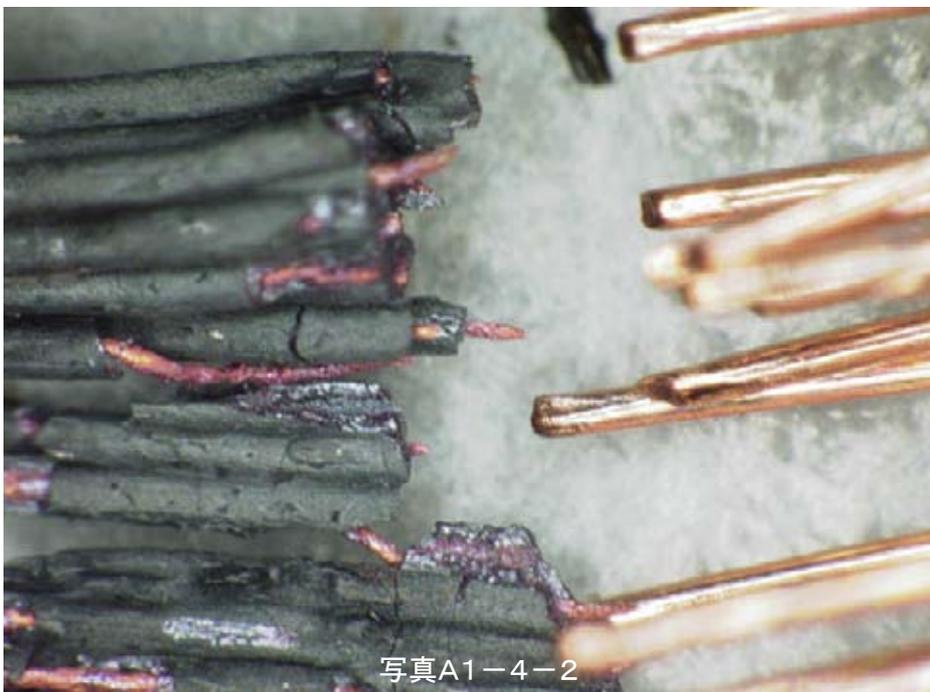
写真A1-3-3は写真A1-3-2で、観察されたテーパ状に痩せた素線の拡大。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-4	一次被熱(接続不良) ★★

参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )		備考: 電流負荷6~7.5A Y端子部が溶断						
	発火までの経過(概略)								
	1 cyc 120 °C	~ 1781 cyc 130 °C	1782 cyc 132 °C	~ 2420 cyc 180 °C	2421 cyc 180 °C	~ 2499 cyc 250 °C	2500 cyc 270 °C	~ 2776 cyc 400 °C	2777 cyc 溶断



写真A1-4-1



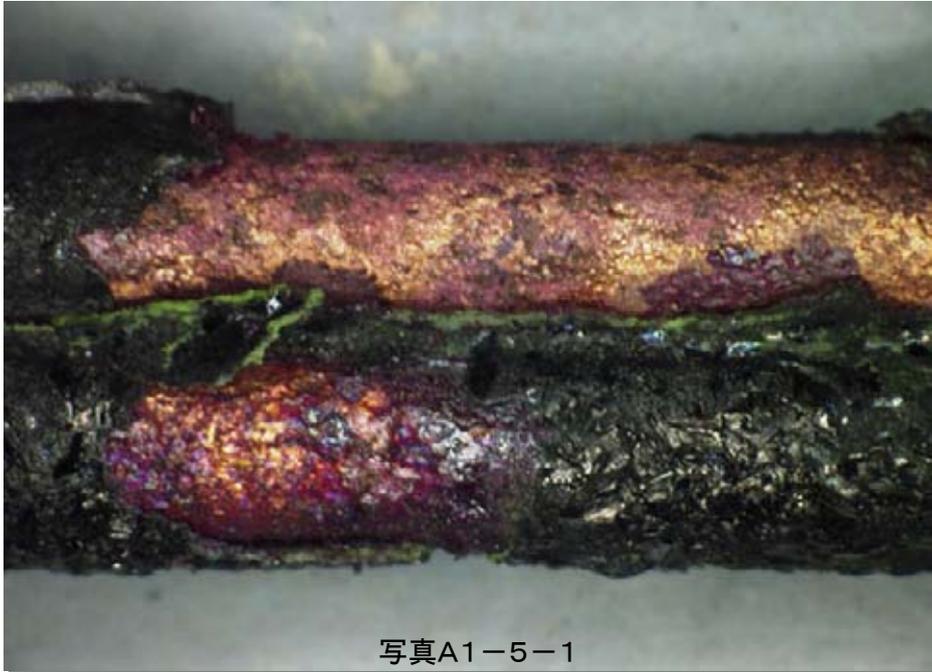
写真A1-4-2

写真A1-4-1は端子部分で溶断したサンプルだが、コード部分の観察中に断線したもの。上側は新品試料。

写真A1-4-2は、写真A1-4-1の拡大部で断線部にはテーパ状に痩せた素線が見られ、銅素地部分の断面の画像解析から求めた線径は0.04~0.07mmであった。右側は新品試料。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-5	二次被熱(電気炉加熱) ★

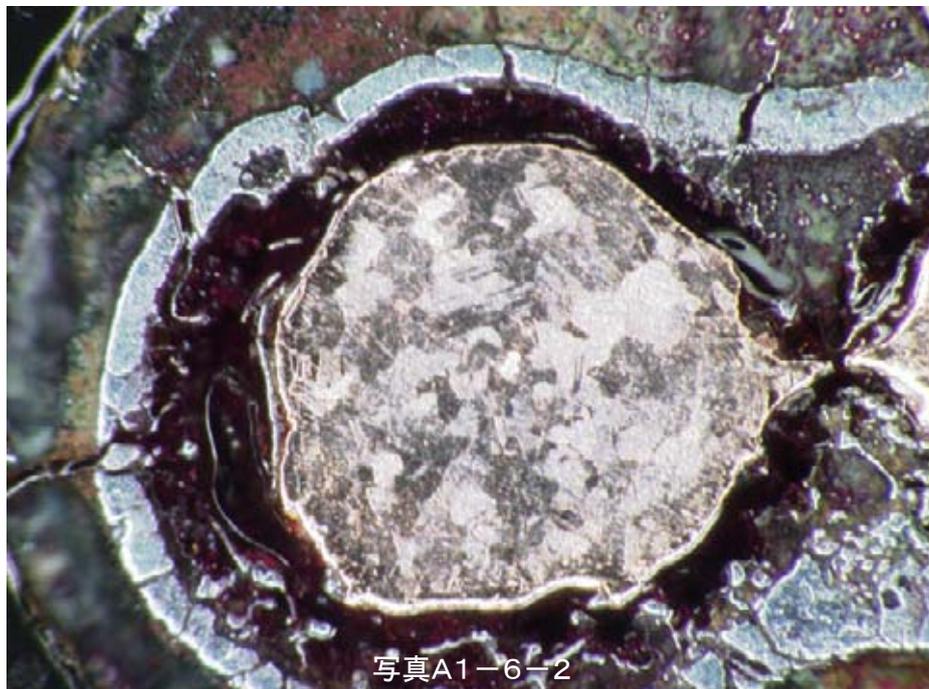
参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 30 分	



写真A1-5-1は、二次被熱で線径減少が見られたVVFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。  
 写真A1-5-2は、その断面。1000°C 20分加熱までのサンプルについては、断面の画像解析から求めた線径が1.58~1.6mmだったのに対して、このサンプルの線径は1.44mmであった。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-6	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 60 分	



写真A1-6-1は、二次被熱で線径減少が見られたVVFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。  
 写真A1-6-2は、その断面。断面の画像解析から求めた線径は0.96mmであった。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-7	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 30 分	



写真A1-7-1は、二次被熱で線径減少が見られたVFFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないとはほとんど観察されないと思われるもの。外観では著しく線径が減少しているようには見えないが、写真A1-7-2のとおり断面を観察すると外周部の一部に著しく線径が減少した素線が見られた(写真の赤円内)。断面の画像解析から求めた線径は最小で0.1mmであった。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-8	二次被熱(電気炉加熱) ★

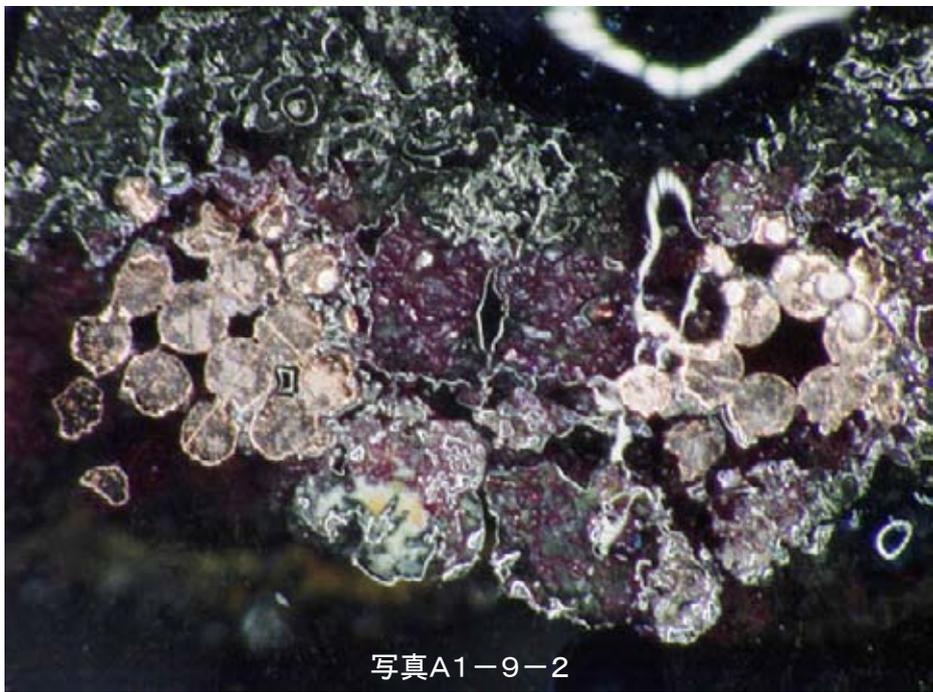
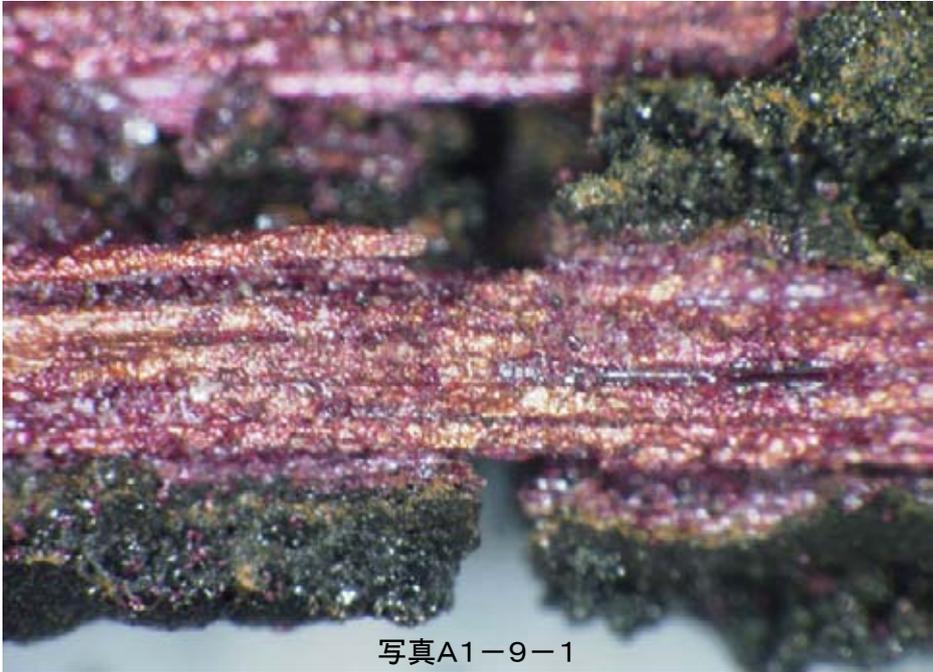
参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 60 分	



写真A1-8-1は、二次被熱で線径減少が見られたVFFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないとと思われるもの。  
 写真A1-8-2は、その断面。見た目にも著しく線径が減少している。断面の画像解析から求めた線径は最小で0.06mmであったが、新品時と同じ0.18mmのものも僅かながら見られた。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-9	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 30 分	



写真A1-9-1は、二次被熱で線径減少が見られたVFFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。  
 写真A1-9-2は、その断面。観察される素線数から、一部の素線はすでに全酸化していると思われる。断面の画像解析から求めた線径は、確認できる素線の最小で0.1mmであった。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-10	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 400 °C 加熱時間: 60 分	



写真A1-10-1



写真A1-10-2

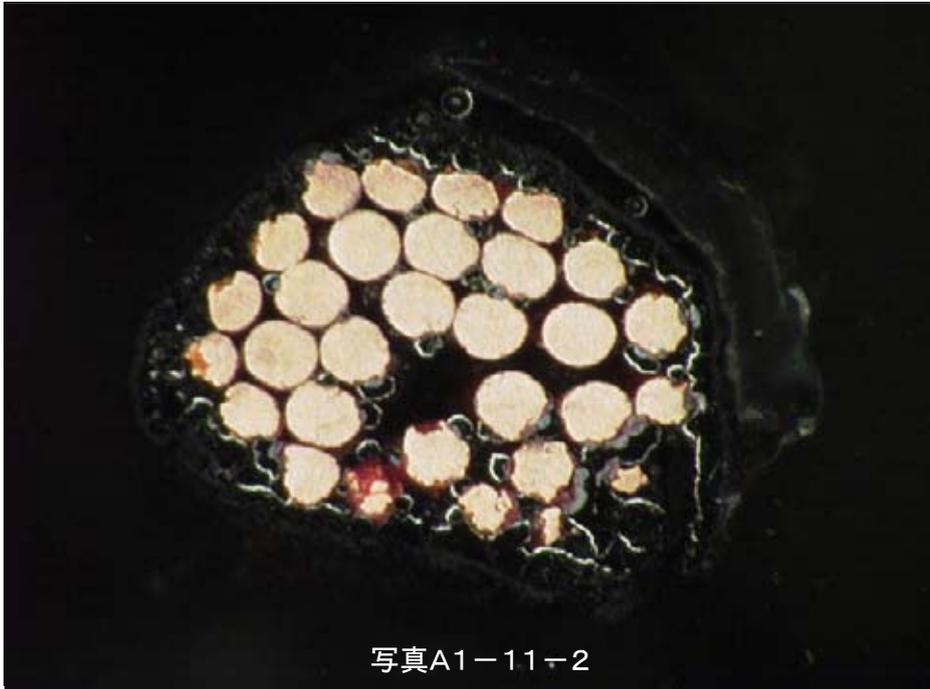
写真A1-7-1は、二次被熱で線径減少が見られたNNFFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。外観では著しく線径が減少しているようには見えないが、写真A1-7-2のとおり、断面を観察すると外周部の一部に著しく線径が減少した素線が見られる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-11	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 60 分	



写真A1-11-1



写真A1-11-2

写真A1-11-1は、二次被熱で線径減少が見られたNNFFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。外観では著しく線径が減少しているようには見えないが、写真A1-11-2のとおり、断面を観察すると外周部の一部に著しく線径が減少した素線が見られる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-12	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 30 分	



写真A1-12-1

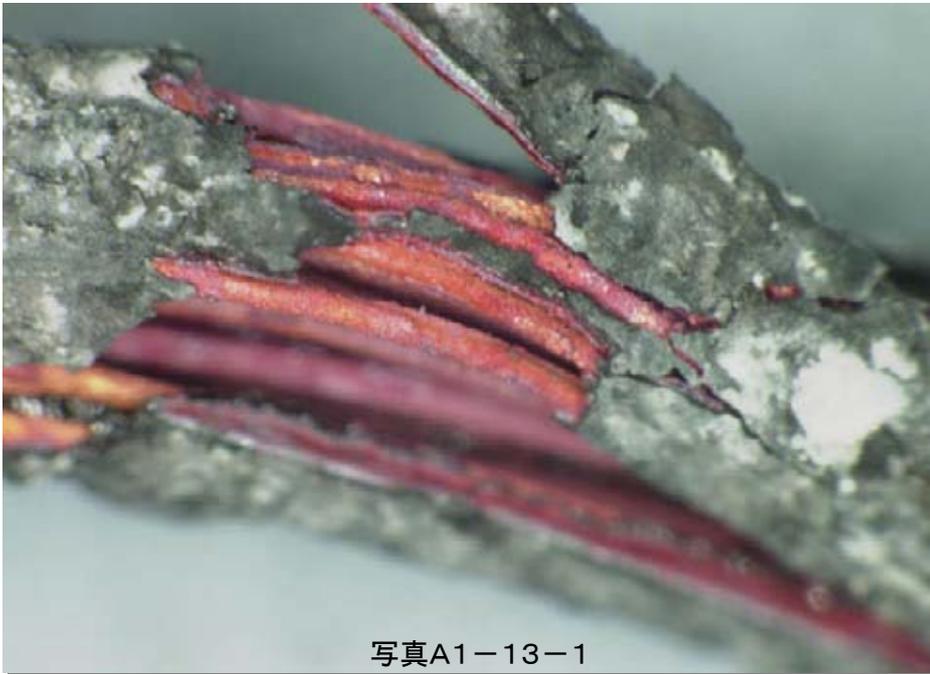


写真A1-12-2

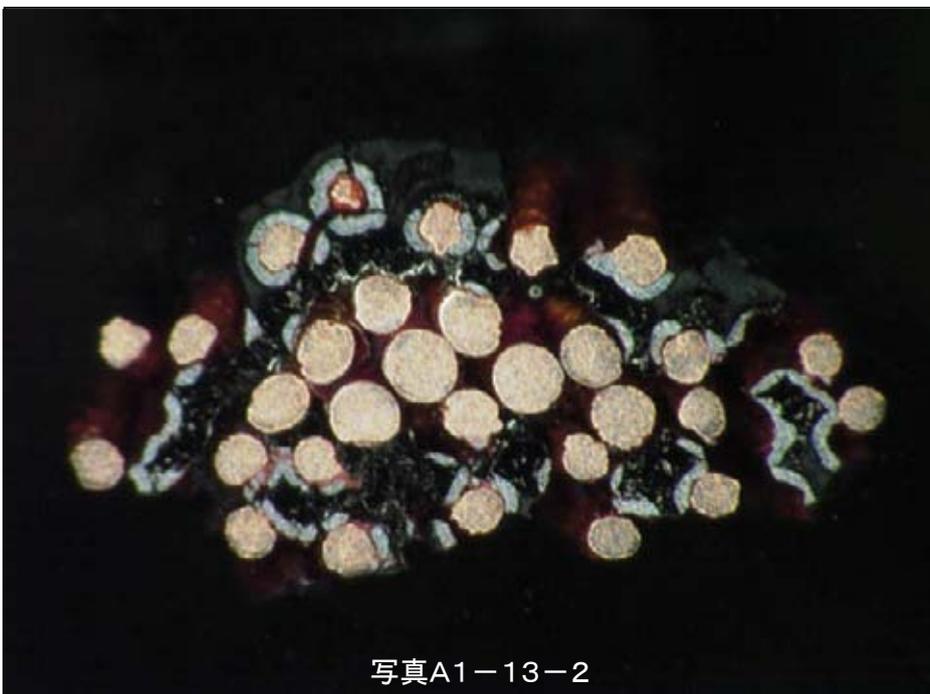
写真A1-12-1は、二次被熱で線径減少が見られたNNFFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。  
写真A1-12-2のとおり、断面を観察すると外周部の一部に著しく線径が減少した素線が見られる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-13	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 60 分	



写真A1-13-1



写真A1-13-2

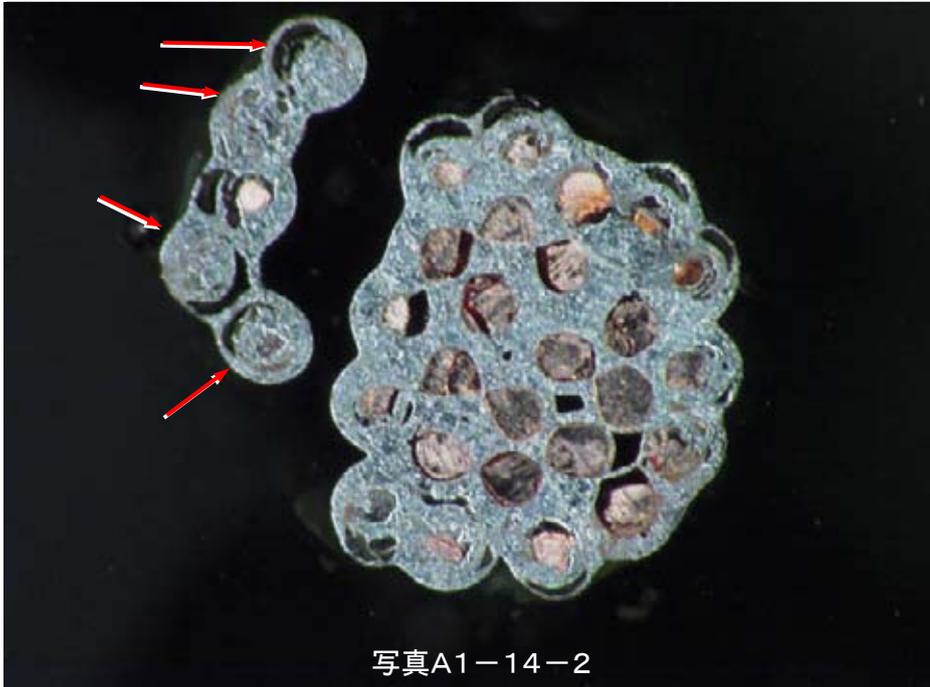
写真A1-13-1は、二次被熱で線径減少が見られたEM-ECTFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないとはほとんど観察されないと思われるもの。  
写真A1-13-2のとおり、断面を観察すると外周部に著しく線径が減少した素線が見られる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-14	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 60 分	



写真A1-14-1

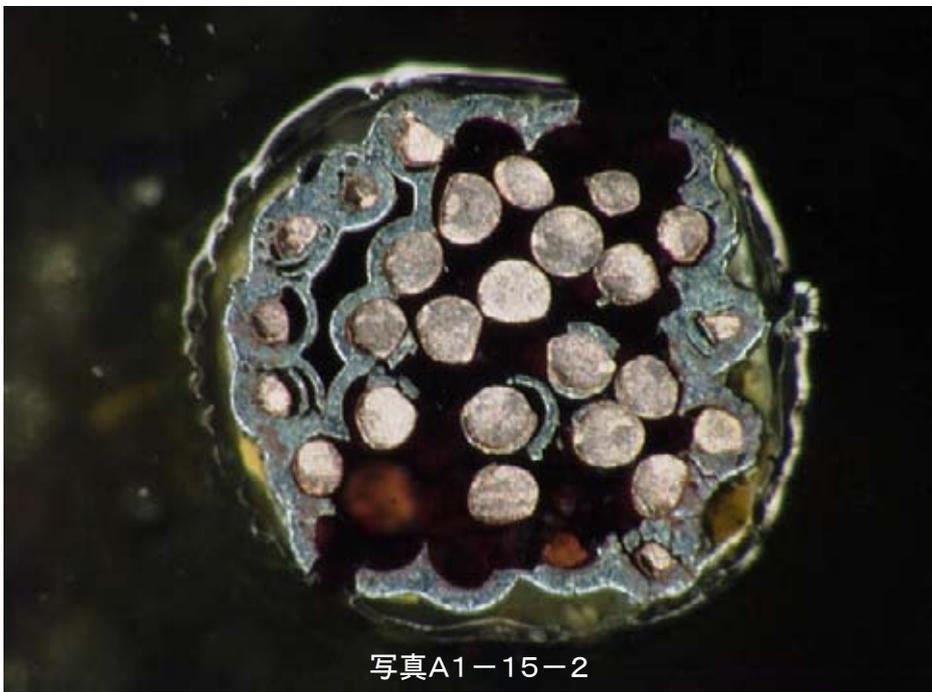


写真A1-14-2

写真A1-14-1は、二次被熱で線径減少が見られたEM-ECTFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。  
写真A1-14-2のとおり、特に外周部で著しく線径が減少した素線が見られ、中には全酸化したと思われる素線も見られる(矢印で示した部分)。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A1	線径の減少	A1-15	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 20 分	



写真A1-15-1は、二次被熱で線径減少が見られたEM-ECTFサンプルの外観で、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。  
写真A1-15-2のとおり、特に外周部で著しく線径が減少した素線が見られる。

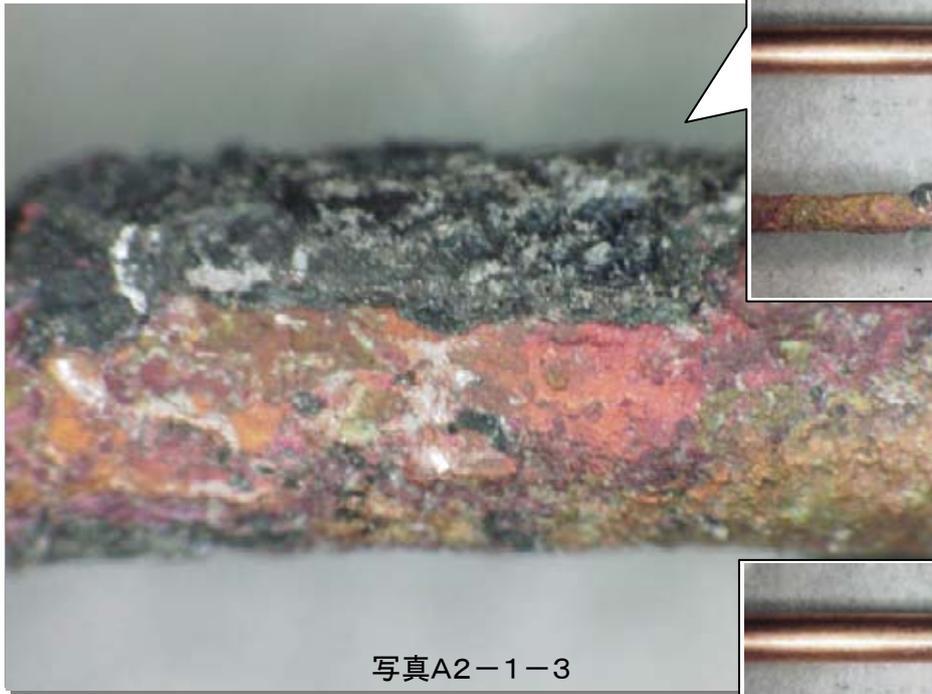
記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-1	一次被熱(接続不良) ★★★

参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考: 電流負荷19A 端子台座金端部で溶断
	発火までの経過(概略)	
	1 cyc ~ 544 cyc 73 °C ~ 108 °C	545 cyc ~ 653 cyc 37 °C ~ 129 °C
		1016 cyc ~ 1220 cyc 33 °C ~ 280 °C
		1221 cyc 溶断

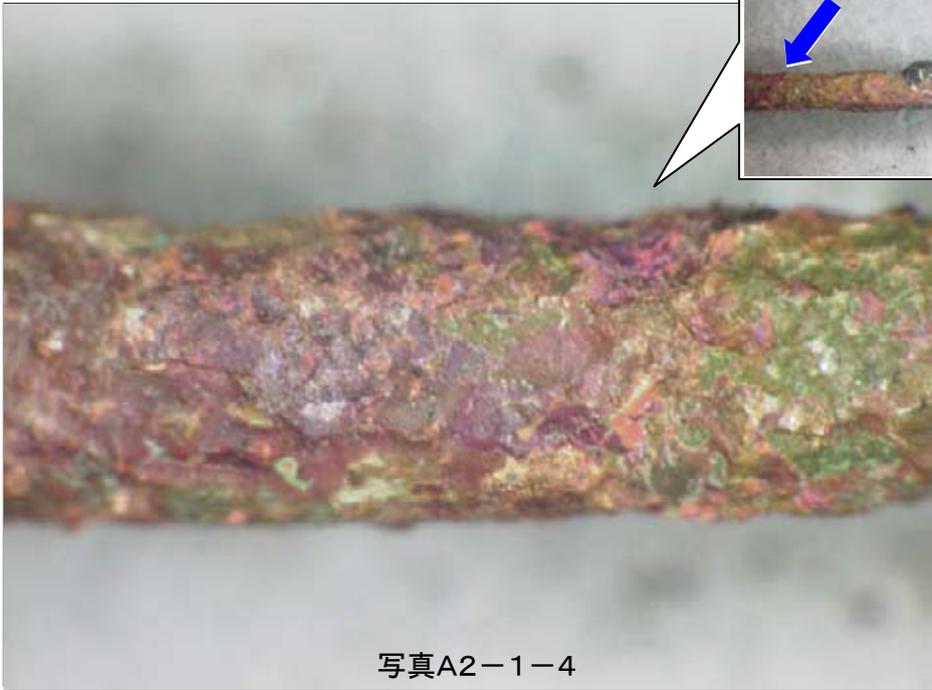


写真A2-1-1の先端約5mmは、露出して扁平な痩せが生じている。端子台にねじ止めする際被覆を剥いた部分と思われる。先端露出部以降の隣接部は、表面に被覆炭化物や銅化合物がかさぶた状に生じている。

写真A2-1-2は、断線部を拡大したもので、上側は新品試料。



写真A2-1-3



写真A2-1-4

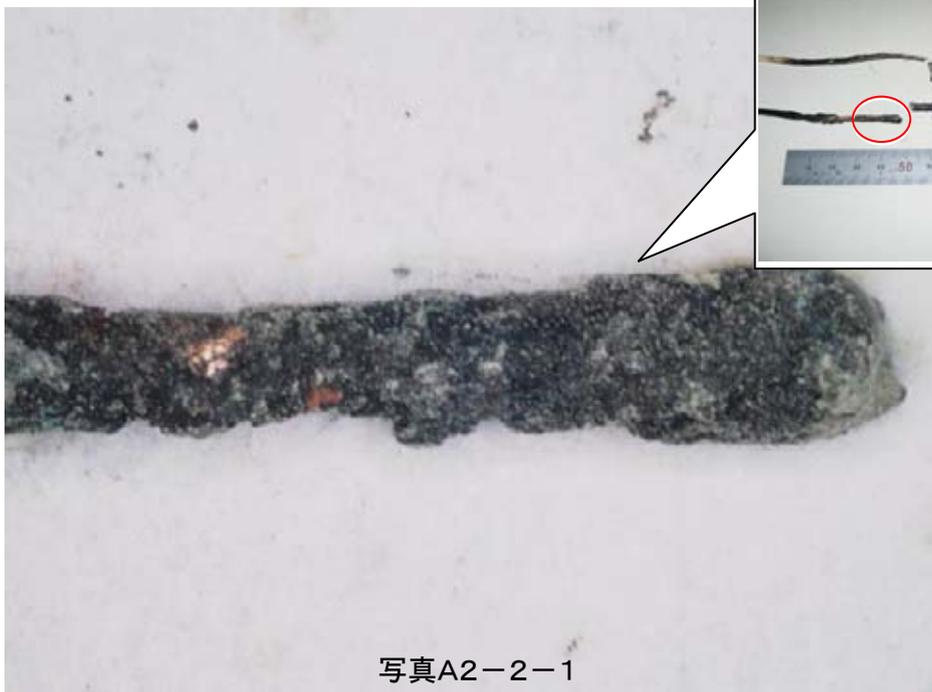
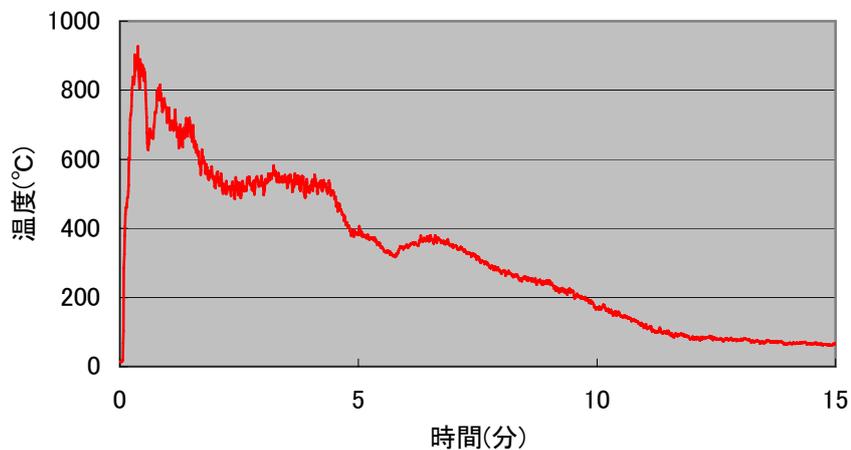
写真A2-1-3及び写真A2-1-4は、写真A2-1-2で見られたかさぶた状の化合物を取り除いた状態。それぞれ吹き出し中の写真の矢印部分を拡大したもの。  
かさぶたの下からは光沢の無い銅素地が現れ、表面には著しい荒れが見られた。  
いずれの吹き出し写真も上側は新品試料。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-2	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考: 電流負荷9.5~11A 端子台座金端部で溶断			
発火までの経過(概略)				
1 cyc ~ 709 cyc	710 cyc ~ 1028 cyc	1029 cyc ~ 1599 cyc	1600 cyc ~ 1610 cyc	1611 cyc
37 °C ~ 117 °C	46 °C ~ 117 °C	78 °C ~ 220 °C	415 °C ~ 470 °C	溶断

< 火炎曝露時の温度推移 >

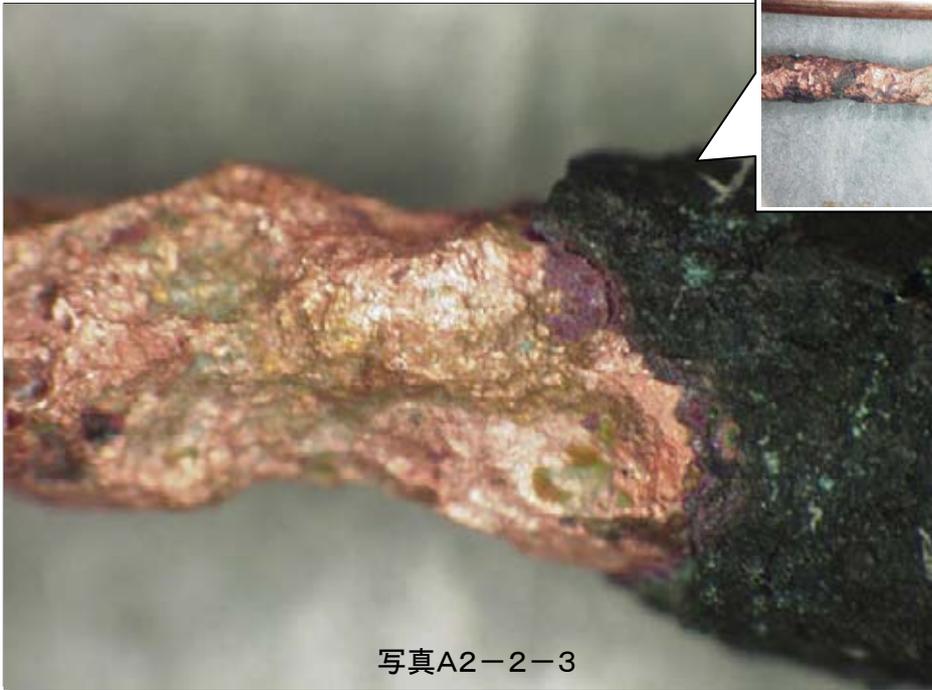
参考  
データ



写真A2-2-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後の外観。



写真A2-2-2



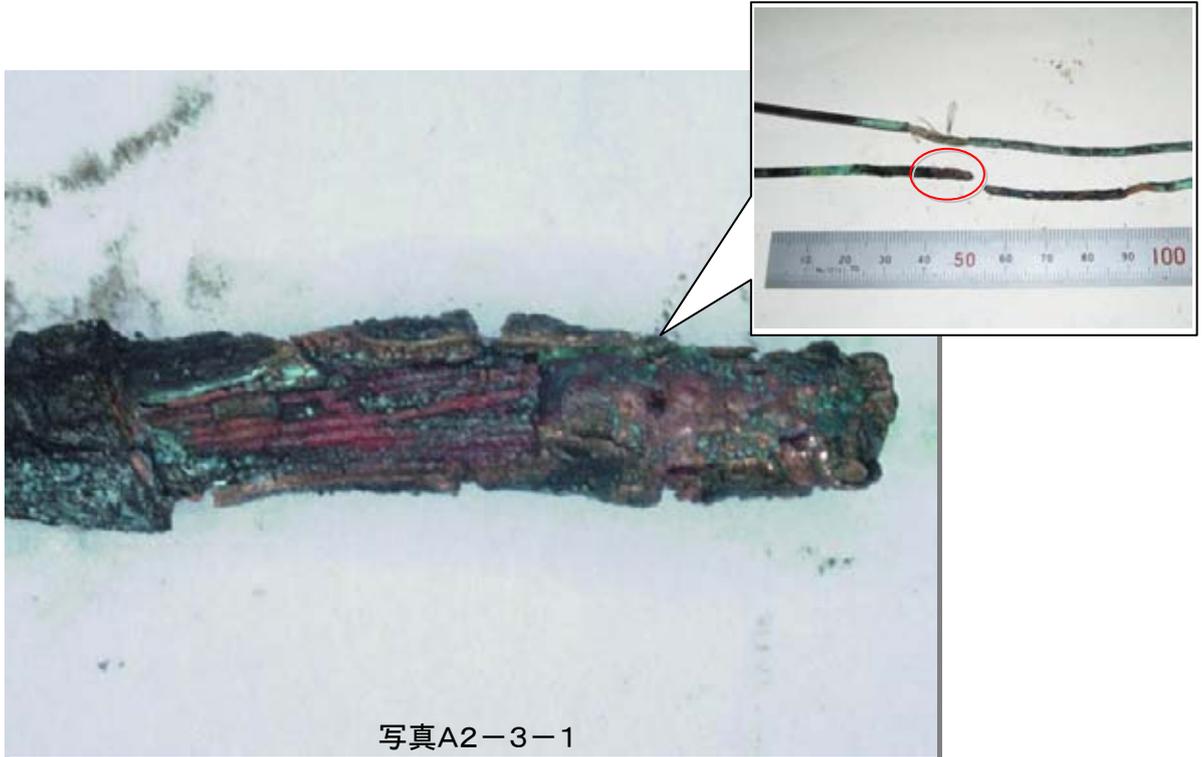
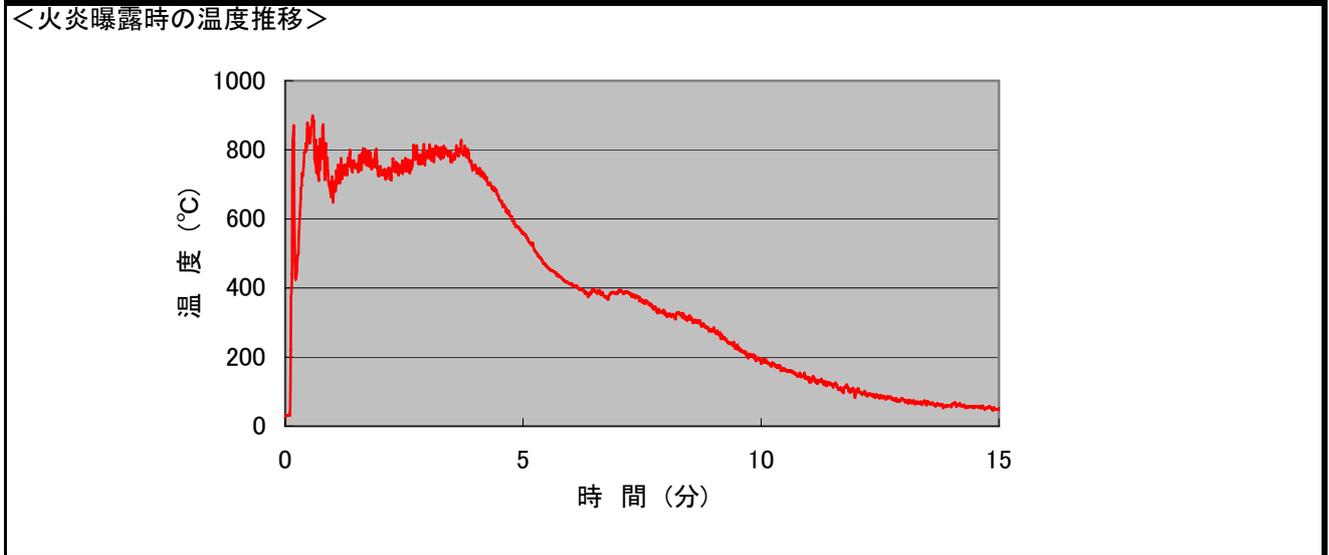
写真A2-2-3

写真A2-2-2は、火炎曝露後の外観。火炎曝露後は、断線部周辺で表面の銅化合物が脱落したためかやや細身になり、他の部位も酸化が進んでいるように見えるものの、火炎曝露前の状態をほぼとどめている。上側は新品試料。

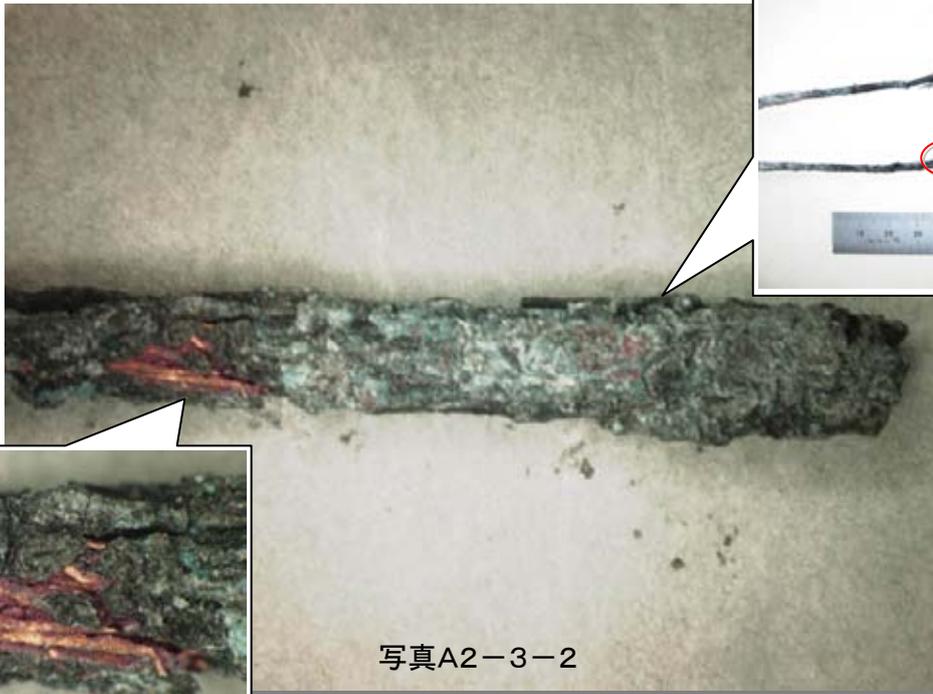
写真A2-2-3は、火炎曝露したサンプルの表面から黒色層を取り除いた状態。表面に著しい荒れが見られ、外観観察時に画像解析から求めた線径は1.3mm程度であった。吹き出し写真の上側は新品試料。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-3	一次被熱(過電流) → 火炎曝露 ★★★

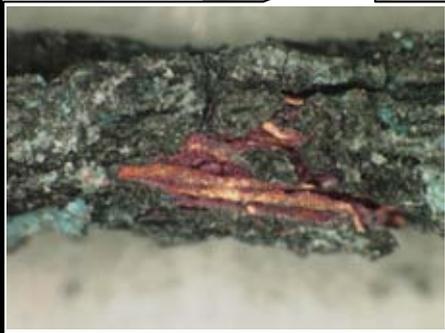
試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷23.5A 試料のほぼ中央で溶断
発火までの経過(概略)	
1 cyc ~ 403 cyc 140 °C ~ 190 °C	404 cyc 溶断



写真A2-3-1は、一次被熱(過電流)条件による発火後の状態。外側からは素線の銅素地部分は見えない。



写真A2-3-2

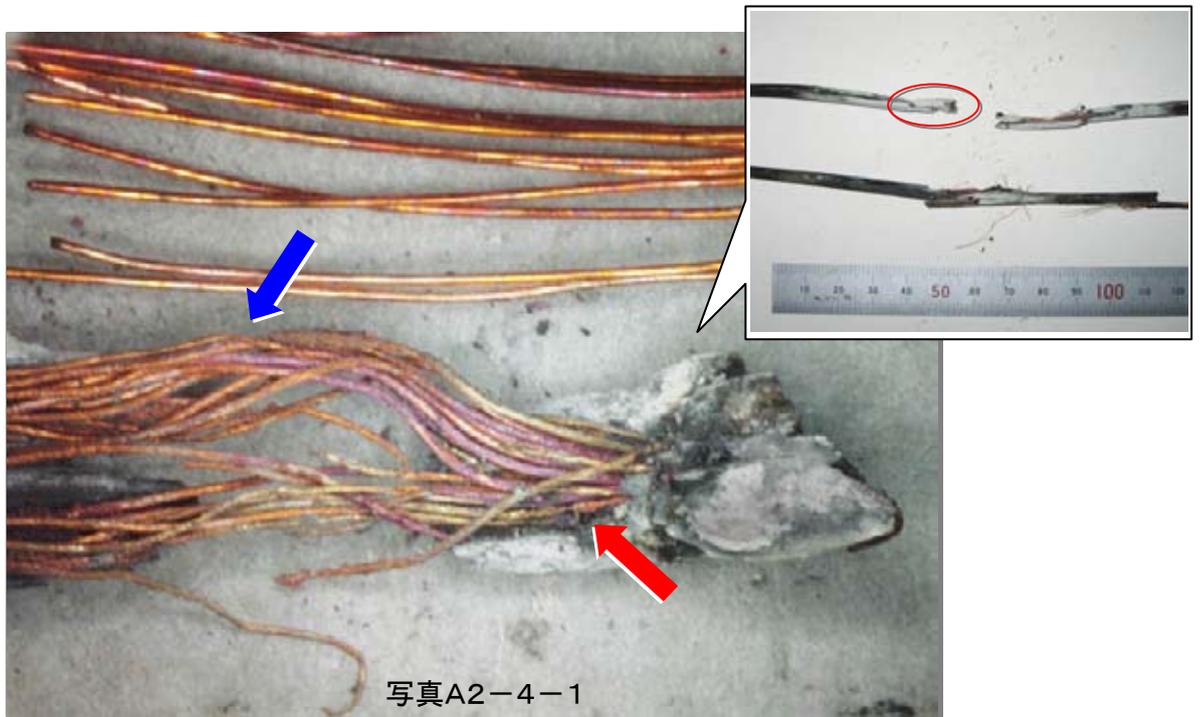


写真A2-3-3

写真A2-3-2及び写真A2-3-3は、火炎曝露後の状態。  
銅素地が覗いた部分の素線は著しい表面荒れがみられるが、これは一次被熱によるもので火炎曝露前の状態をほぼとどめている。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-4	一次被熱(過電流) ★★★

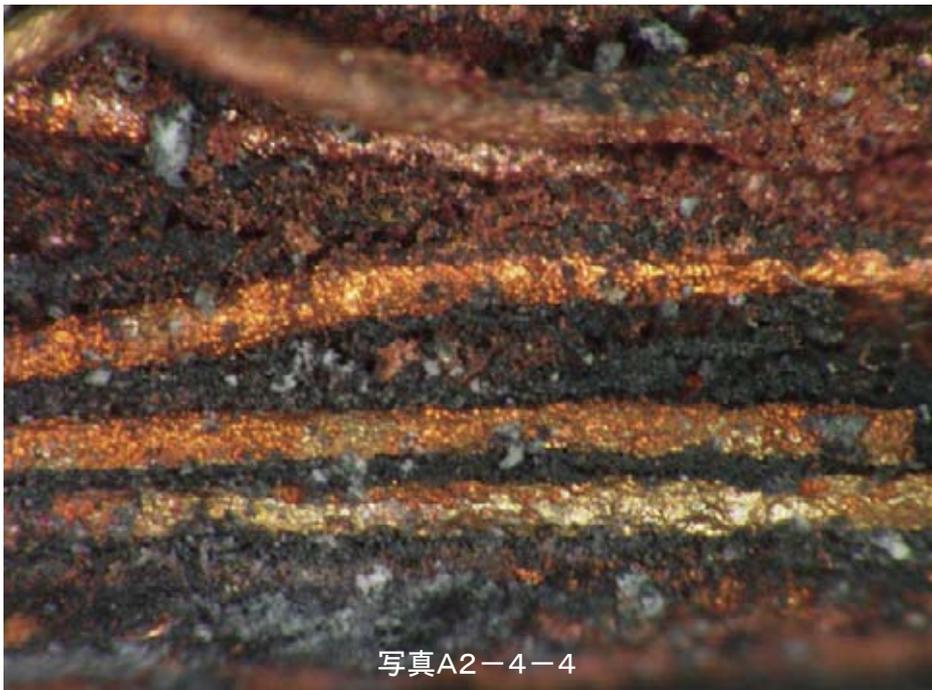
参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )		備考: 電流負荷20~28A 試料のほぼ中央で溶断 発火までの経過(概略)										
	1 cyc	~	144 cyc	~	145 cyc	~	1511 cyc	~	1512 cyc	~	1922 cyc	~	1923 cyc
	100 °C	~	106 °C	~	118 °C	~	150 °C	~	170 °C	~	220 °C	~	溶断



写真A2-4-1は、一次被熱(過電流)条件による発火後の状態。上側は新品試料。  
写真A2-4-2は、写真A2-4-1中の赤矢印で示した部分。素線表面に著しい荒れが見られる。



写真A2-4-3



写真A2-4-4

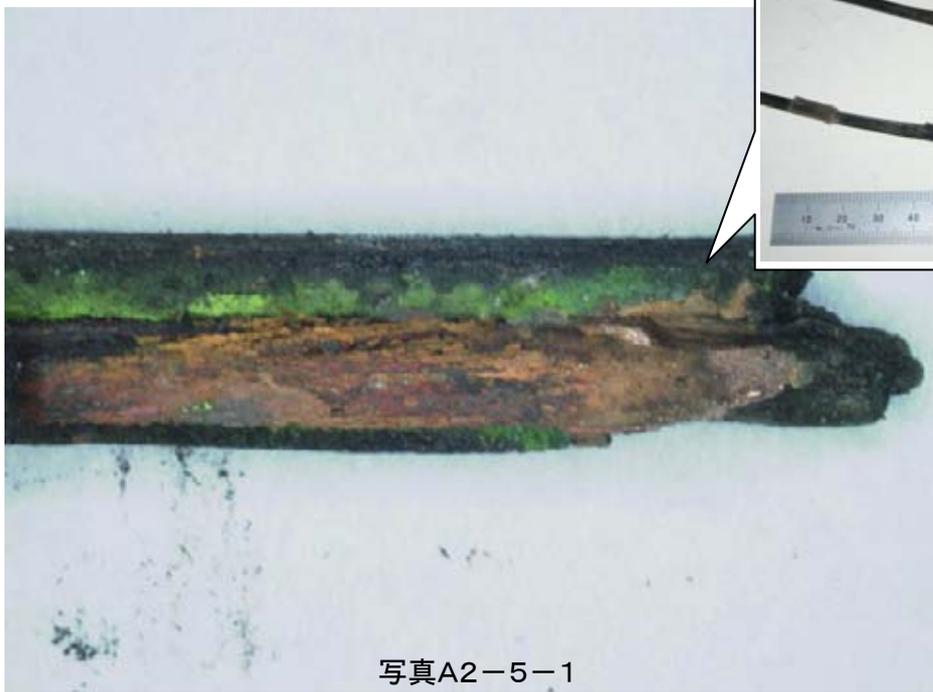
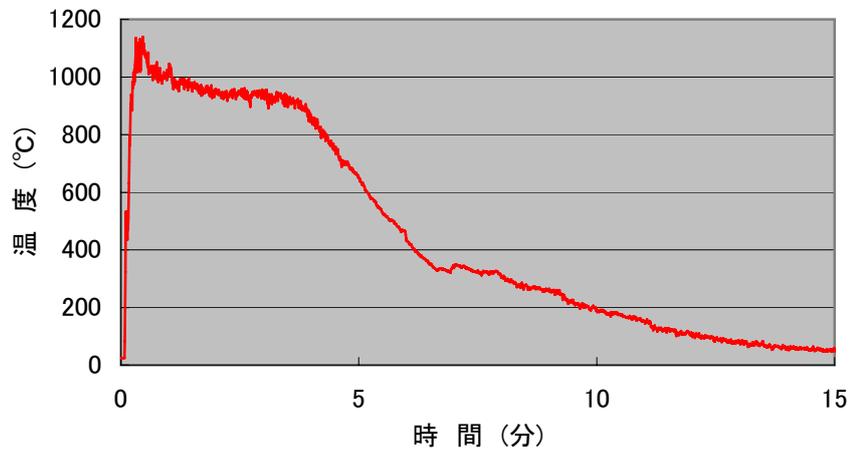
写真A2-4-3は、写真A2-4-1中の青矢印で示した部分。  
写真A2-4-4は、断線部から約20mm付近の素線表面。断線部周辺は溶断時の発火により被覆が燃焼、灰化し脱落したと考えられるが、やや離れた部位では著しい表面荒れ及び被覆の残さが見られる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-5	一次被熱(過電流) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷20~28A 試料のほぼ中央で溶断			
発火までの経過(概略)				
1 cyc ~ 144 cyc 95 °C ~ 104 °C	145 cyc ~ 192 cyc 104 °C ~ 135 °C	193 cyc ~ 1416 cyc 110 °C ~ 145 °C	1417 cyc ~ 1973 cyc 150 °C ~ 180 °C	1974 cyc 溶断

<火炎曝露時の温度推移>

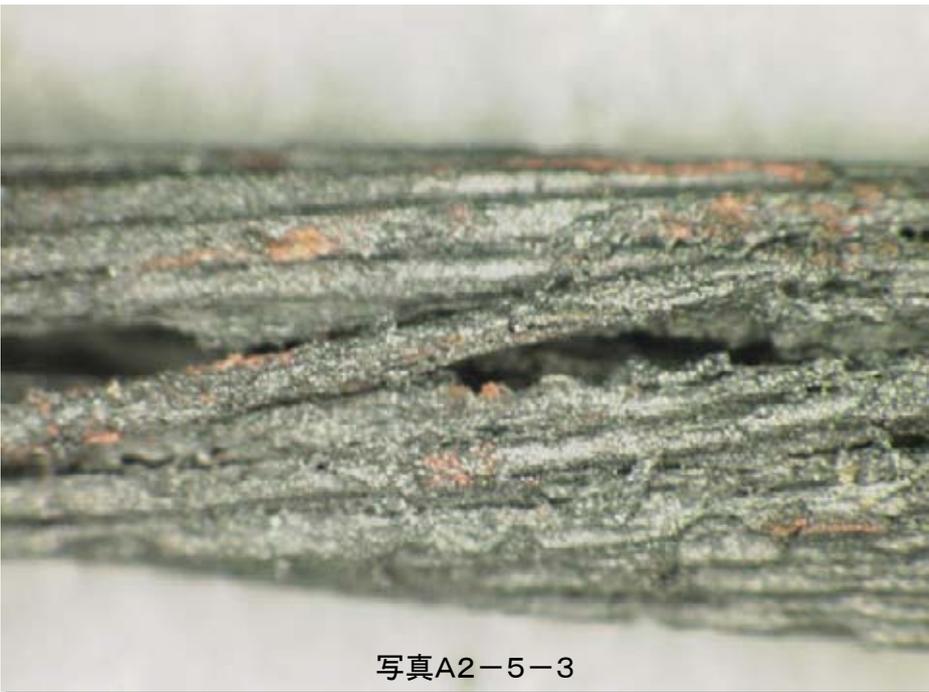
参考  
データ



写真A2-5-1は、一次被熱(過電流)条件による発火後の断線部。



写真A2-5-2



写真A2-5-3

写真A2-5-2は、火炎曝露後の断線部。被覆は火炎曝露によって灰化し、容易に除去できた。  
写真A2-5-3は、火炎曝露後の断線部近傍表面。素線表面は酸化層に覆われ銅素地の観察は難しいが、表面が荒れている様子が窺われる。



写真A2-5-4



写真A2-5-5

写真A2-5-4及び写真A2-5-5は、断線部から約25mmの位置。  
酸化層が脱落して銅素地が見られる部分の素線には著しい表面荒れがみられるが、これは一次被熱によるもので火炎曝露前の状態をほぼとどめている。

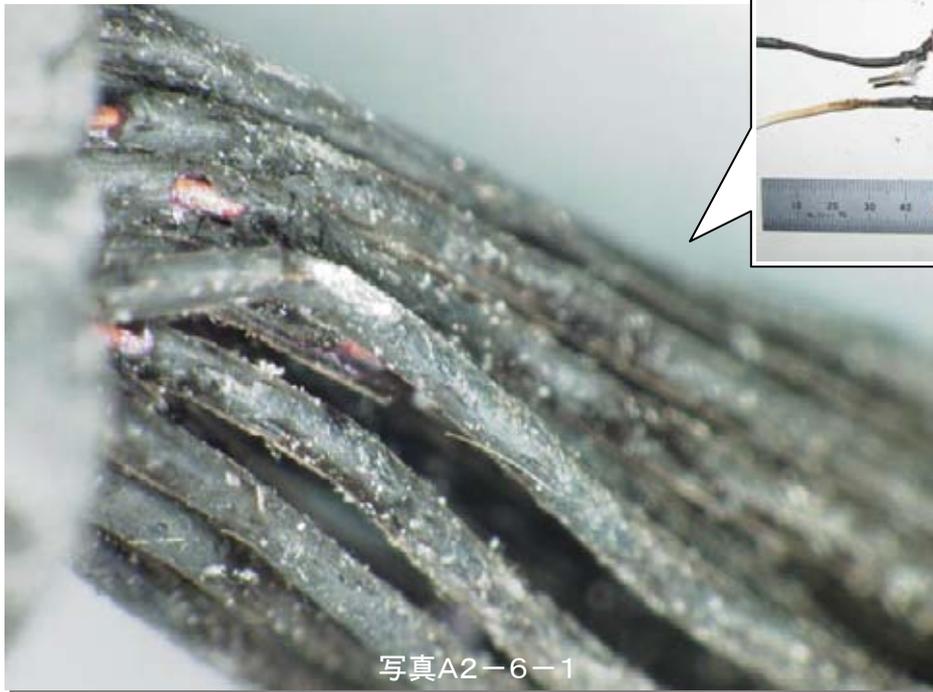
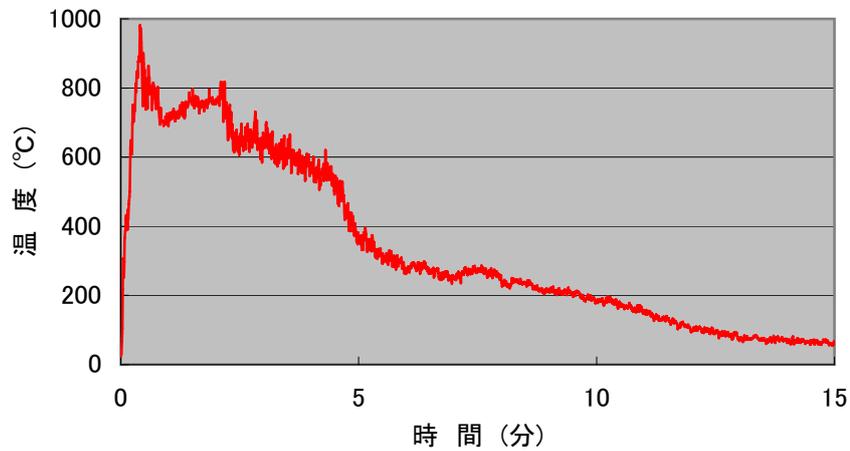
記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-6	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm<sup>2</sup>) | 備考: 電流負荷6~7.5A Y端子がねじと接触する部分で溶断  
 発火までの経過(概略)

1 cyc ~ 1079 cyc	1080 cyc ~ 1847 cyc	1848 cyc ~ 3023 cyc	3024 cyc ~ 3322 cyc	3323 cyc
96 °C ~ 196 °C	206 °C ~ 240 °C	123 °C ~ 198 °C	380 °C ~ 500 ↑ °C	溶断

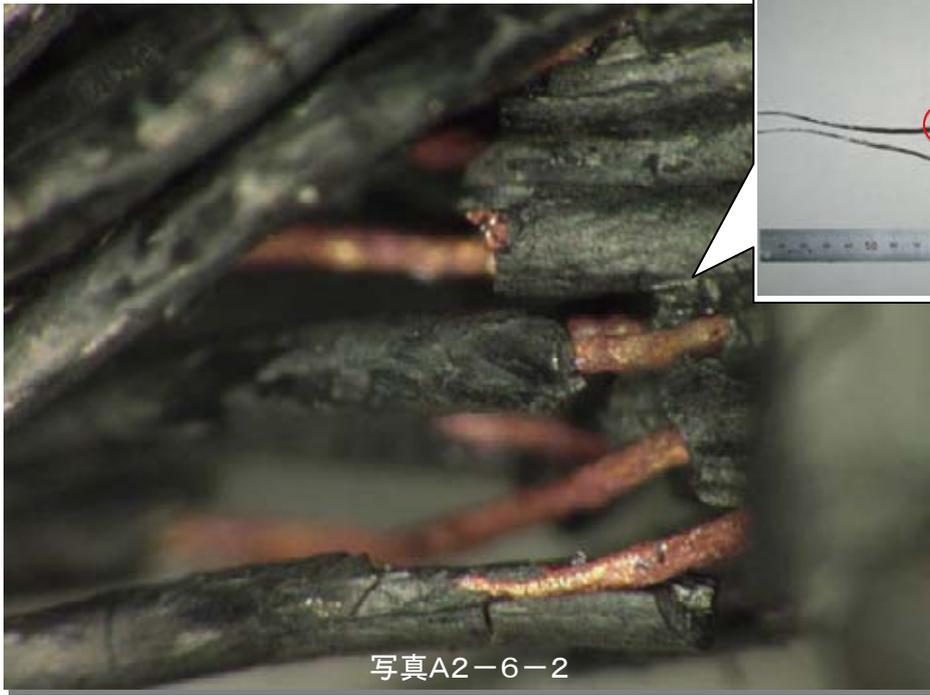
<火炎曝露時の温度推移>

参考  
データ



写真A2-6-1

写真A2-6-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後の状態。  
 厚い黒色の層の下に銅素地が見える。



写真A2-6-2



写真A2-6-3

写真A2-6-2及び写真A2-6-3は、火炎曝露後の状態。  
表面の荒れは一次被熱によるもので、VFFのものとはタイプが異なり凹凸が滑らかであるが、火炎曝露前の状態をほぼとどめている。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-7	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 20 分	



写真A2-7

写真A2-7は、二次被熱(電気炉加熱)によってVVFサンプルに生じた表面荒れで、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-8	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 30 分	



写真A2-8

写真A2-8は、二次被熱(電気炉加熱)によってVVFサンプルに生じた表面荒れで、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-9	二次被熱(電気炉加熱) ★

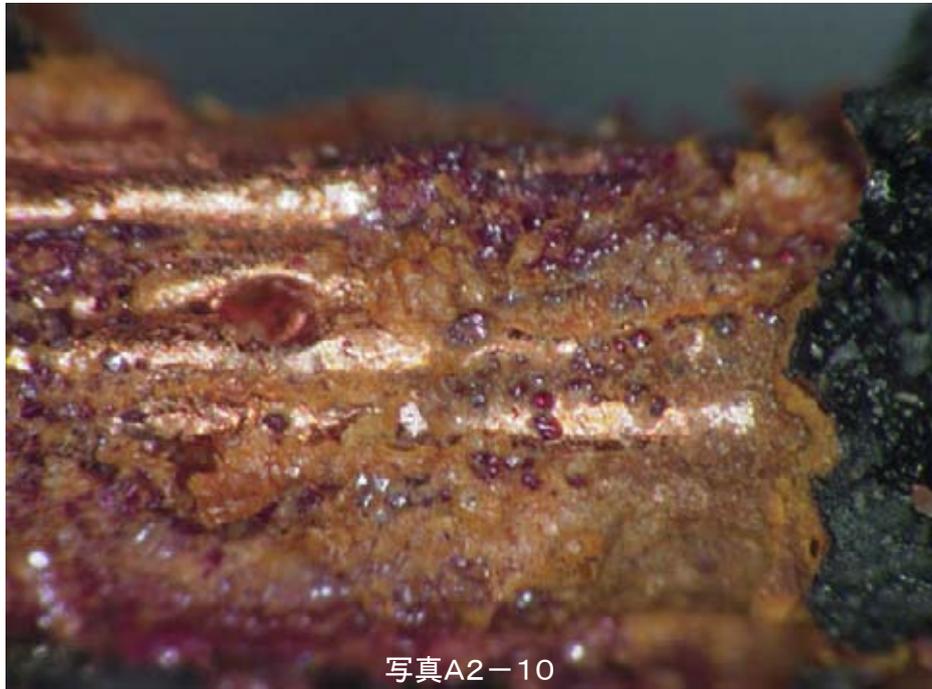
参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 60 分	



写真A2-9は、二次被熱(電気炉加熱)によってVFFサンプルに生じた表面荒れで、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-10	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 20 分	



写真A2-10は、二次被熱(電気炉加熱)でVFFサンプルに生じた表面荒れで、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-11	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 20 分	



写真A2-11

写真A2-11は、二次被熱(電気炉加熱)によってNNFFサンプルに生じた表面荒れで、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A2	表面荒れ	A2-12	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 10 分	



写真A2-12

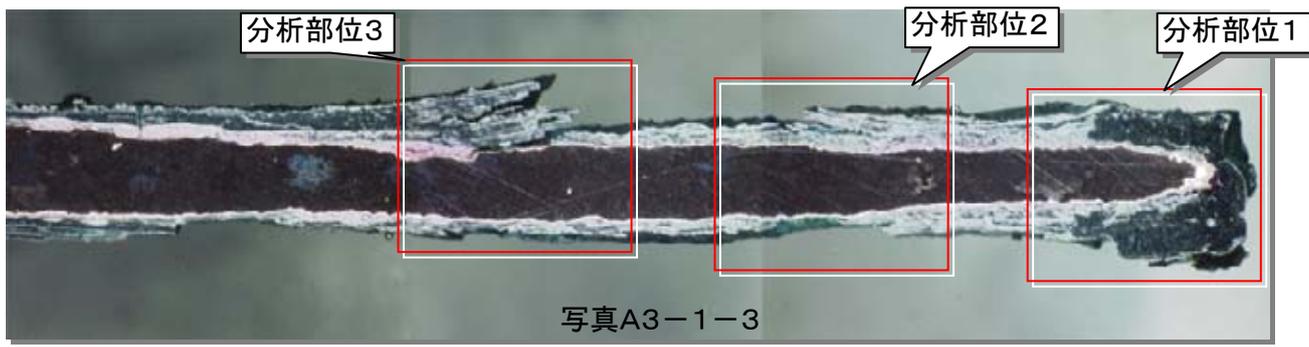
写真A2-12は、二次被熱(電気炉加熱)によってEM-ECTFサンプルに生じた表面荒れで、二次被熱サンプルでは特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A3	心線表面の銅化合物	A3-1	一次被熱(接続不良) ★★★

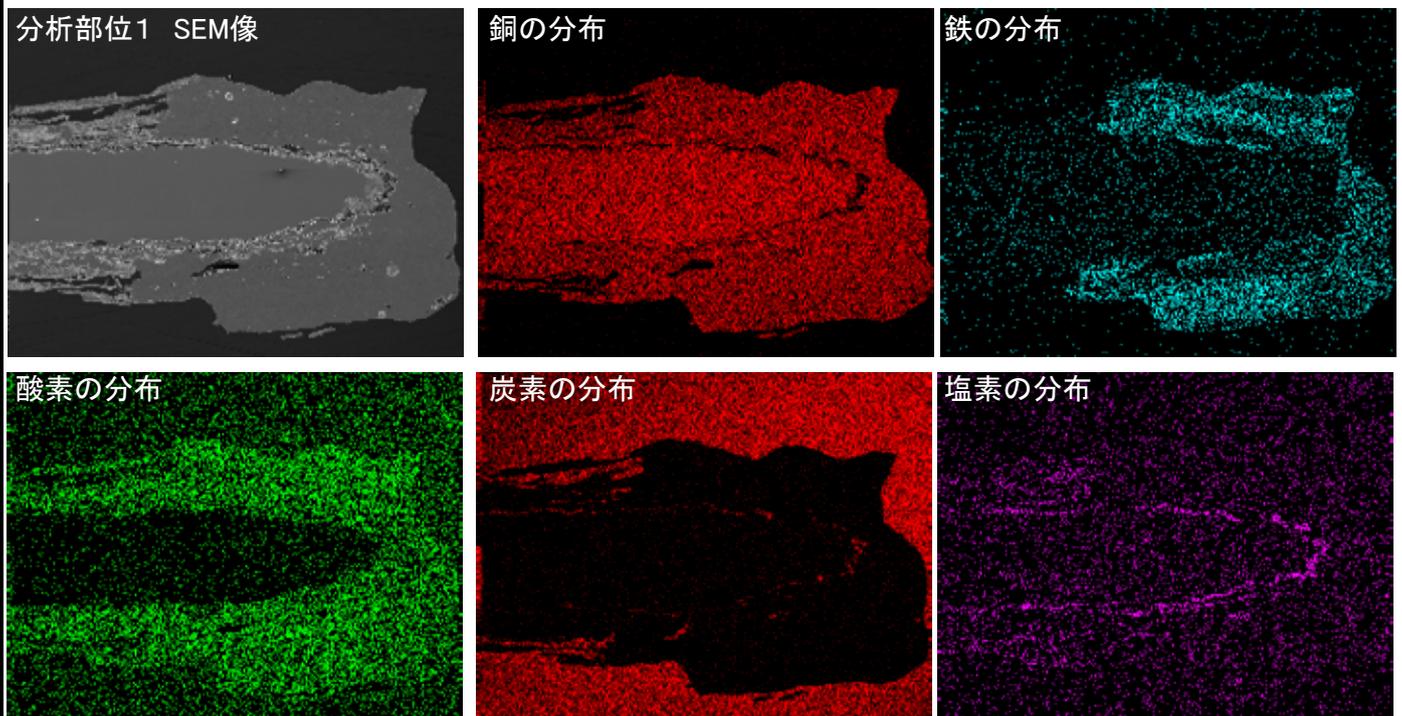
参考 データ	試料: No. 1 (VVF1.6φ)	備考: 電流負荷19A 端子台座金端部で溶断
	発火までの経過(概略)	
	1 cyc ~ 118 cyc 74 °C ~ 120 °C	119 cyc ~ 545 cyc 44 °C ~ 93 °C
	914 cyc ~ 1075 cyc 298 °C ~ 350 °C	1076 cyc 溶断



写真A3-1-1及び写真A3-1-2の心線表面にかさぶた状に生じた銅化合物は、硬く、比較的しっかり素地部分と密着している。  
 試料を折り曲げたりすると脱落する場合があるほか、素地部分との隙間にピンセットの先端を差し込んだりすると剥離する(写真A3-1-1及び写真A3-1-2中の矢印で示した部分)。  
 吹き出し写真の上側は新品試料。

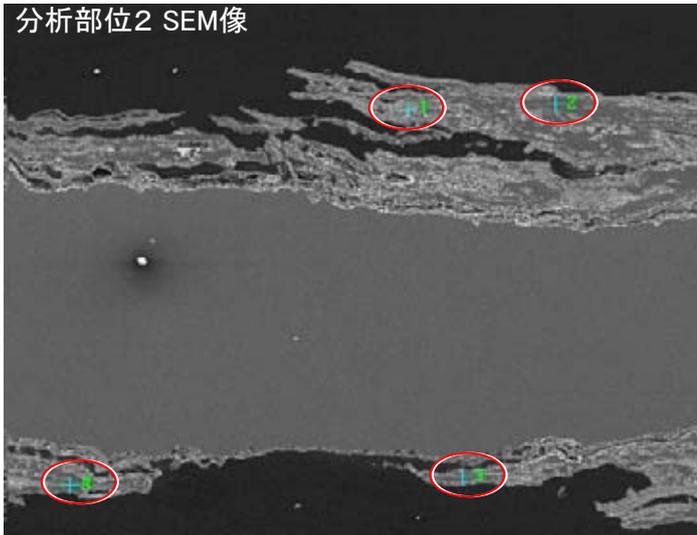


分析部位1での主な検出元素のマッピング分析結果



写真A3-1-3は、元素分析のために断線部先端数cmを樹脂埋めして断面を研磨し、マイクロスコープ像により各分析部位の位置関係を示したもの。  
 写真A3-1-3の分析部位1では、端子台座金の端部で溶断していることから、断線部からは座金の材料である鉄を検出している。

分析部位2 SEM像



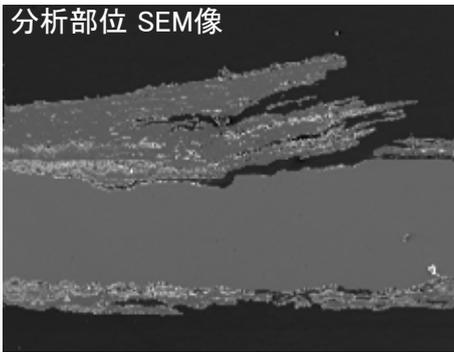
<円内は点分析の分析位置>

分析部位2における点分析の結果

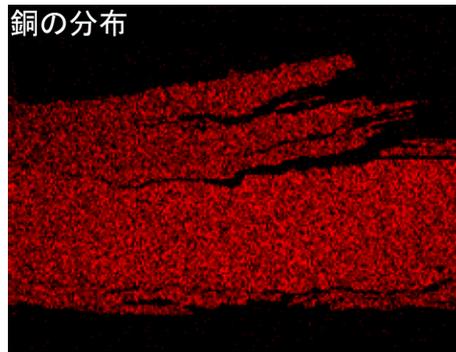
分析位置	分析結果(wt%)					
	O	Cu	Si	Cl	Ca	その他
1	29.0	66.3	1.1	1.3	0.9	1.4
2	24.2	75.8				
3	24.3	75.7				
4	26.7	68.3	3.3	1.1	0.6	

分析部位3での主な検出元素のマッピング分析結果

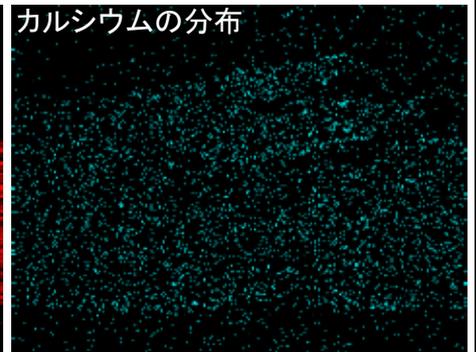
分析部位 SEM像



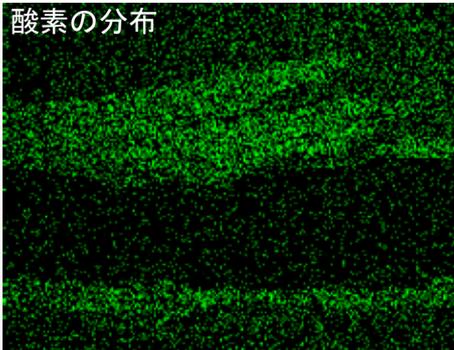
銅の分布



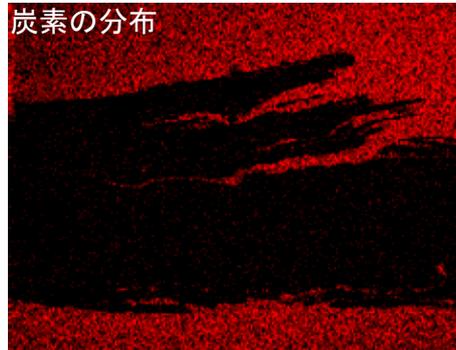
カルシウムの分布



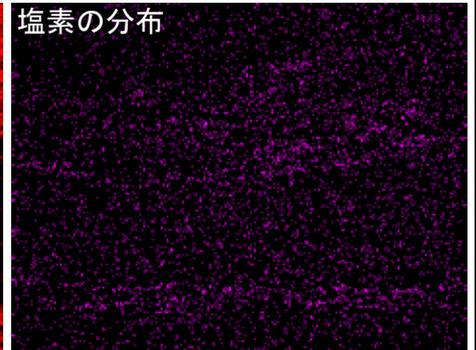
酸素の分布



炭素の分布



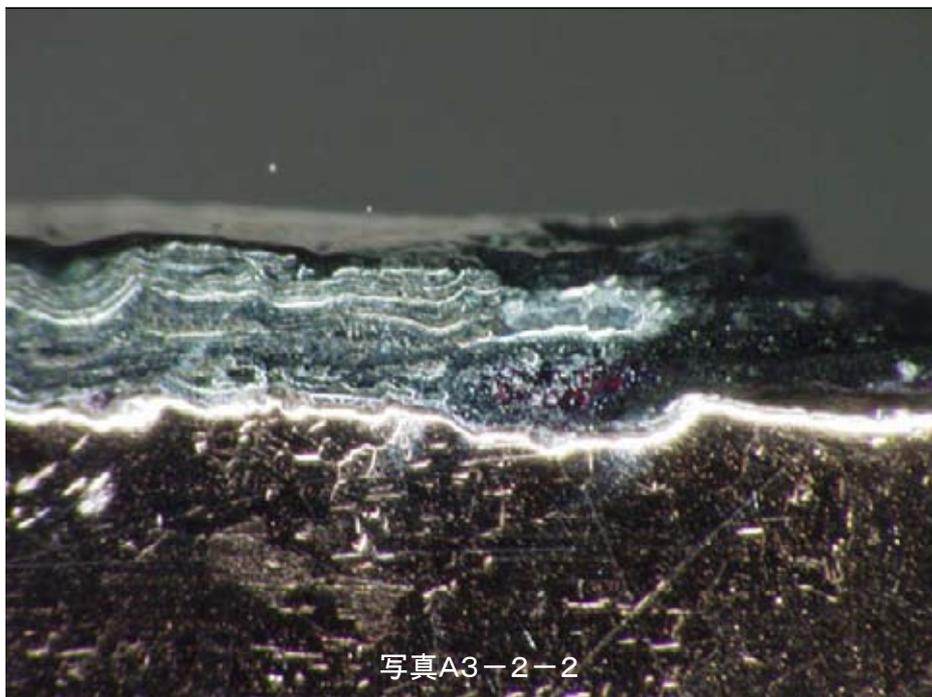
塩素の分布



写真A3-1-3の分析部位2(点分析)及び分析部位3(マッピング分析)では、主に酸化した銅が銅素地の表面から剥離している様子が窺える。

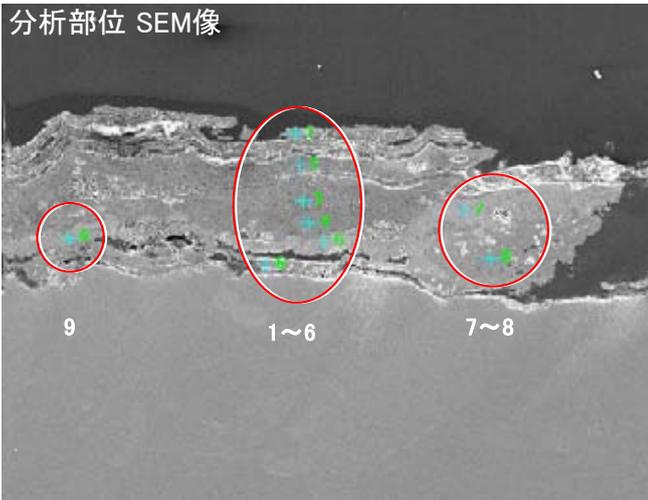
記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A3	心線表面の銅化合物	A3-2	一次被熱(接続不良) ★★★

参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)		備考: 電流負荷19A 端子台座金端部で溶断 発火までの経過(概略)													
	1 cyc 73 °C	~	544 cyc 108 °C	~	545 cyc 37 °C	~	653 cyc 129 °C	~	654 cyc 58 °C	~	1015 cyc 194 °C	~	1016 cyc 33 °C	~	1220 cyc 280 °C	~



写真A3-2-1及び写真A3-2-2は、元素分析のためにねじ止め部の数cm部分を樹脂埋めして研磨した断面のマイクロスコープ像。吹き出し写真の上側は新品試料。

分析部位 SEM像

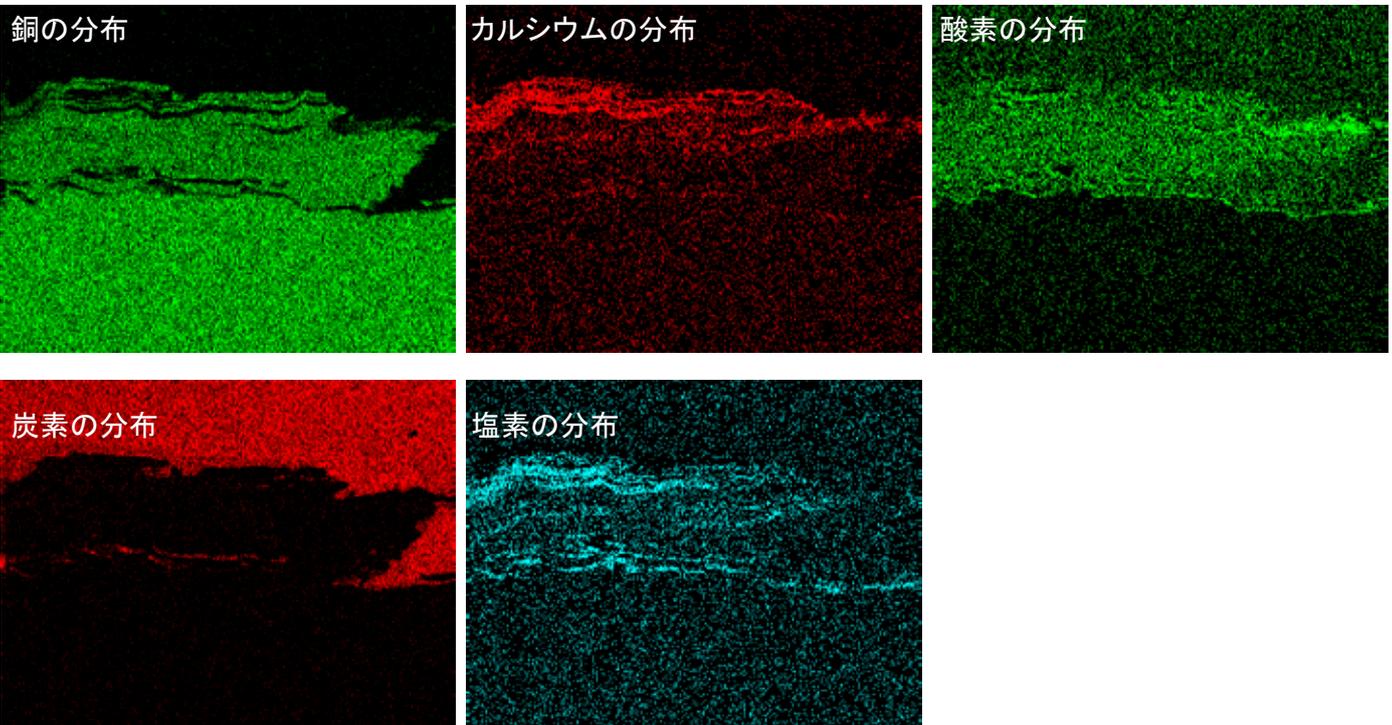


点分析の結果

分析位置	分析結果(wt%)					
	O	Cu	Si	Cl	Ca	その他
1	26.2	73.8				
2	24.3	73.3	1.0	0.6	0.8	
3	25.7	74.4				
4	27.5	67.1	3.0	1.3	1.1	
5	25.6	74.4				
6	13.7	86.3				
7	25.8	74.2				
8	14.7	85.3				
9	26.1	73.9				

<円内は点分析の分析位置>

主な検出元素のマッピング分析結果



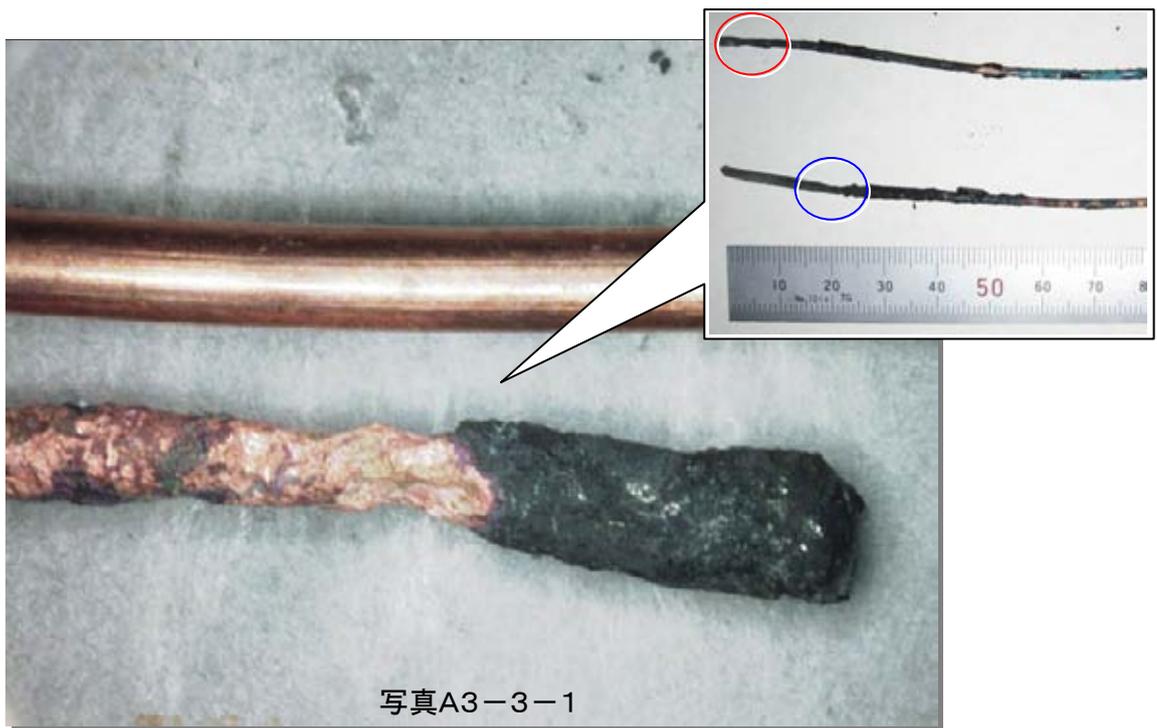
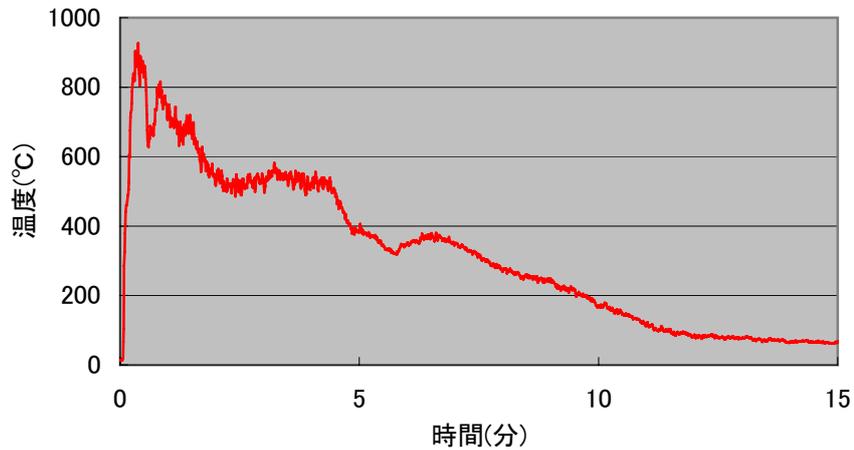
写真A3-2-2の分析部位において、点分析及び主な検出元素のマッピング分析を行った。  
心線表面にかさぶた状に生じた層は主に酸化した銅であるが、部分的に塩素やカルシウムといった被覆に含まれる元素を検出した。  
また、点分析の分析位置8はルビー色の層の部分であるが、銅と酸素のみ検出している。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A3	心線表面の銅化合物	A3-3	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

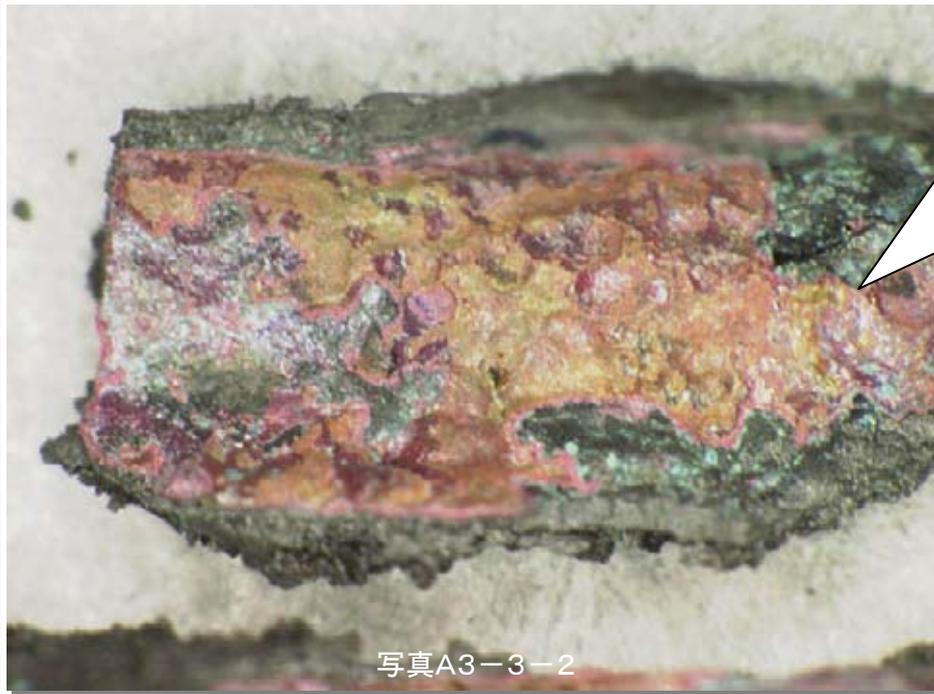
試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考: 電流負荷9~11A 端子台座金端部から約10mm部分 発火までの経過(概略)			
1 cyc ~ 709 cyc 37 °C ~ 117 °C	710 cyc ~ 1028 cyc 46 °C ~ 117 °C	1029 cyc ~ 1599 cyc 78 °C ~ 220 °C	1600 cyc ~ 1610 cyc 415 °C ~ 470 °C	1611 cyc 溶断

<火炎曝露時の温度推移>

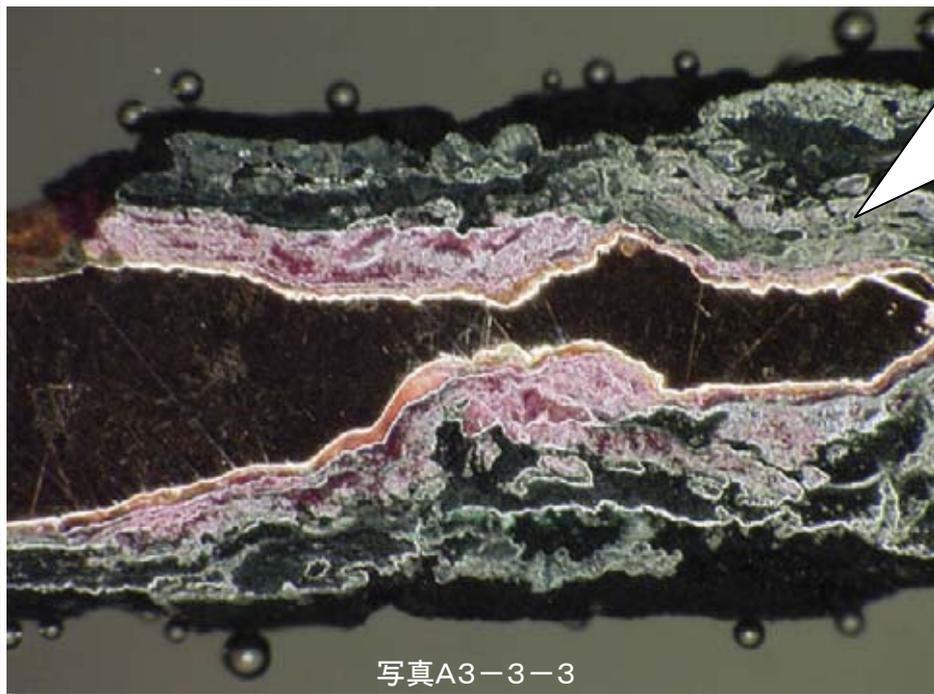
参考  
データ



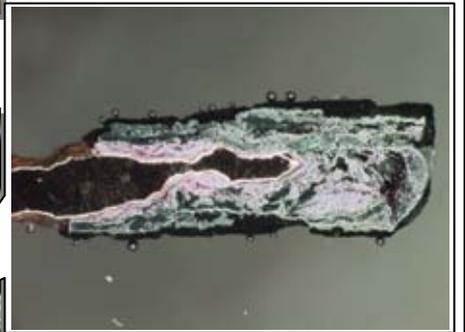
写真A3-3-1は、「表面荒れ」でも掲載したサンプル(写真A2-2参照)の火炎暴露後の外観で、吹き出し写真の赤円部分のマイクロSCOPE像。断線部周辺を除き、観察時に表面の銅化合物を除去した状態。かさぶた状に生じた表面の銅化合物は、火炎曝露後も残存した。写真の上側は新品試料。



写真A3-3-2



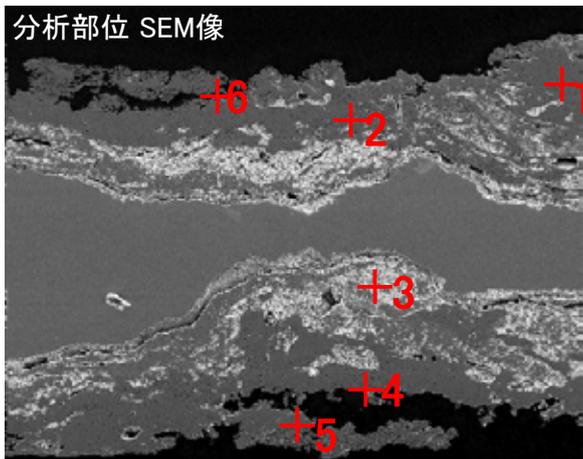
写真A3-3-3



写真A3-3-2は、写真A3-3-1の吹き出し写真の青円部分で示した断線しなかった極のマイクロスコップ像で、断線極同様に表面に銅化合物が生じている。写真は剥離したかさぶた状の化合物の内側。

写真A3-3-3は、元素分析のために写真A3-3-1の吹き出し写真の赤円部分で示した断線部先端を、樹脂埋めして断面を研磨した分析部位のマイクロスコップ像。

分析部位 SEM像

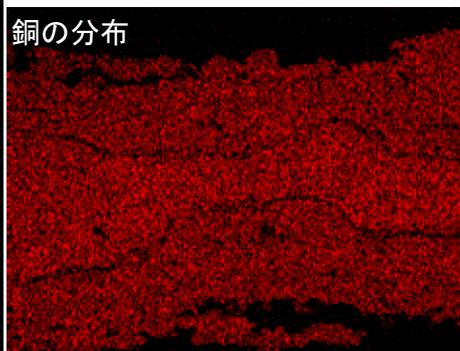


分析位置	分析結果(wt%)					
	O	Cu	Si	Cl	Ca	その他
1	27.0	70.2	---	1.6	1.3	---
2	31.6	57.9	2.9	5.2	2.4	---
3	20.0	69.7	10.3	---	---	---
4	25.0	75.0	---	---	---	---
5	26.3	71.7	---	1.3	0.7	---
6	27.4	68.6	---	2.3	1.7	---

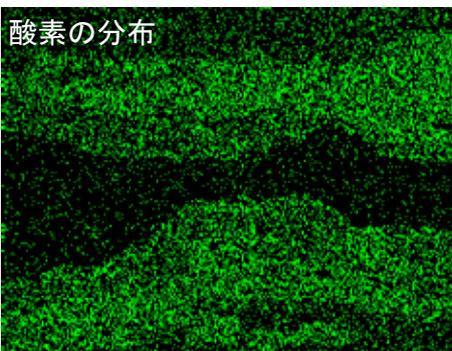
<+印は点分析の分析位置>

主な検出元素のマッピング分析結果

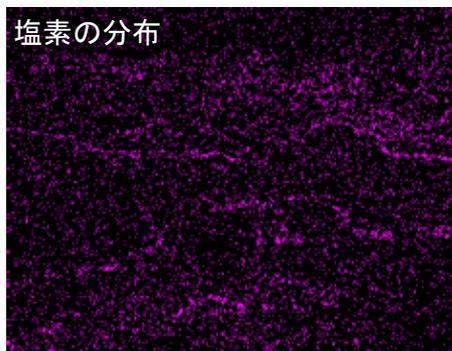
銅の分布



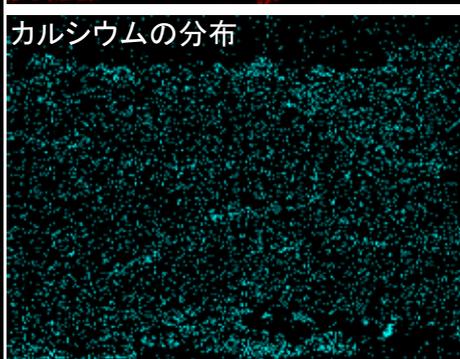
酸素の分布



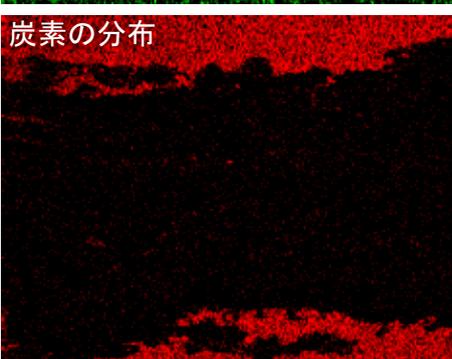
塩素の分布



カルシウム



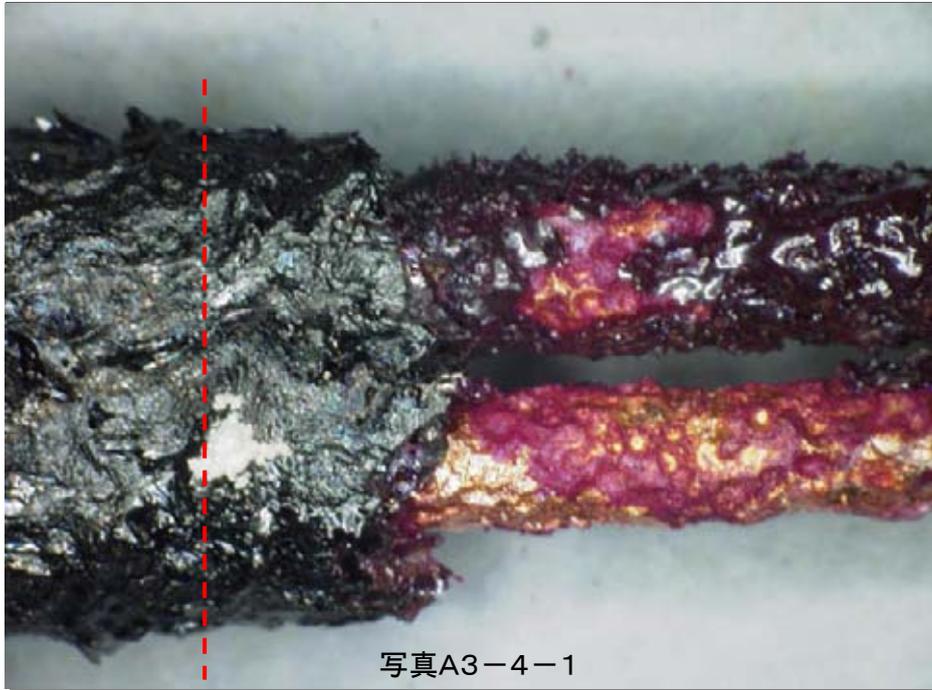
炭素の分布



写真A3-3-3の分析部位において、点分析及び主な検出元素のマッピング分析を行った。一次被熱サンプル同様、心線表面にかさぶた状に生じた層は主に酸化した銅であり、部分的に塩素やカルシウムといった被覆に含まれる元素を検出した。

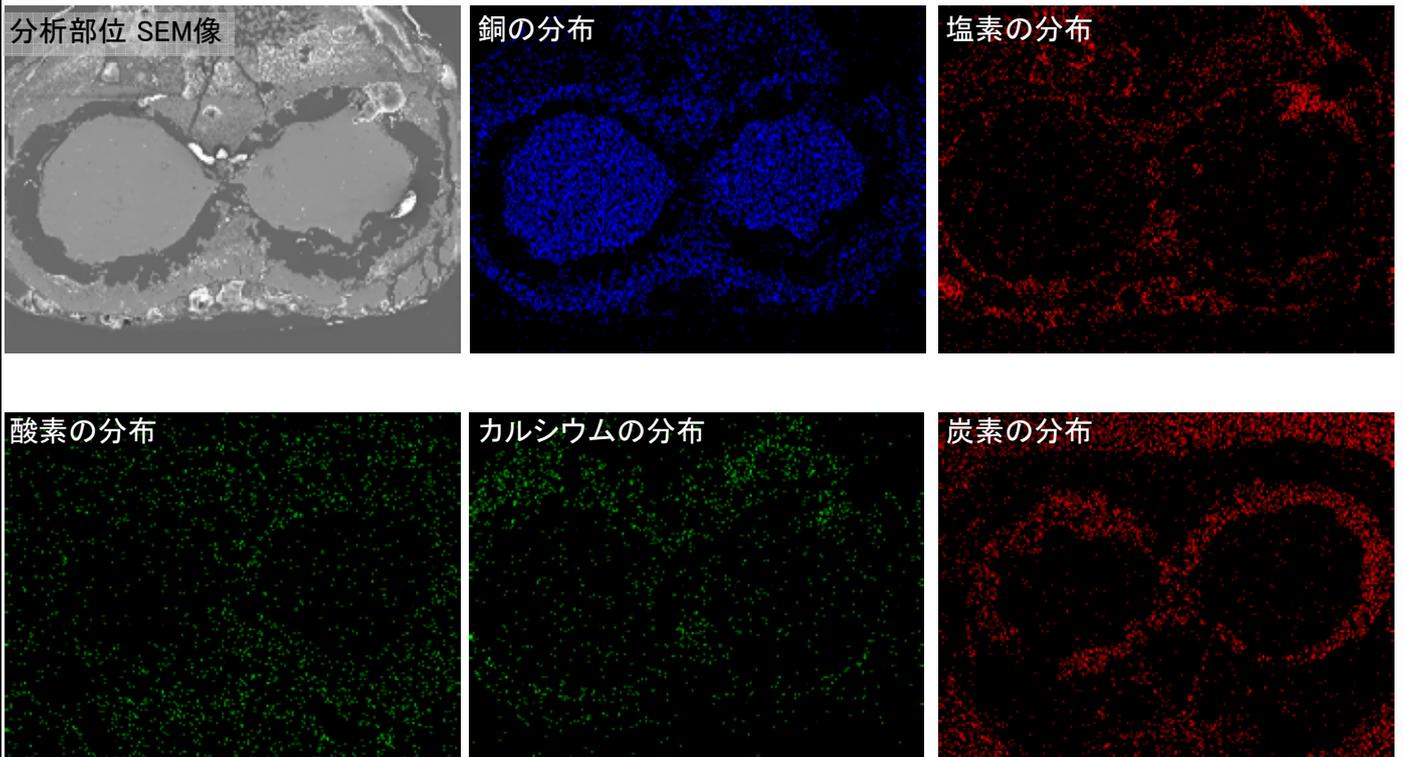
記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A3	心線表面の銅化合物	A3-4	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 60 分	



写真A3-4-1は、心線表面にかさぶた状の化合物が生じたサンプルの外観。  
 写真A3-4-2は、元素分析のために写真A3-4-1の点線部分で切断し、樹脂埋めして断面を研磨した分析部位のマイクロスコープ像。  
 本サンプルの加熱条件は1000°C 60分と過酷なものであり、特殊条件下(本文1頁参照)でないといほとんど観察されないとと思われるもの。

### 主な検出元素のマッピング分析結果



写真A3-4-2の分析部位において、主な検出元素のマッピング分析を行った。  
銅が表面のかさぶた部分にまで分布しているが、この部分に明確な酸素の分布は見られない。  
銅素地部の外周に炭素が分布しているが、銅素地と表面化合物との間に埋め込み樹脂が侵入したものと  
考えられる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A4	素線間の銅化合物	A4-1	一次被熱(過電流) ★★★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷17.5~24.5A 試料のほぼ中央で溶断
	発火までの経過(概略)	
	1 cyc ~ 145 cyc 85 °C ~ 92 °C	146 cyc ~ 1022 cyc 120 °C ~ 130 °C
		1387 cyc 溶断

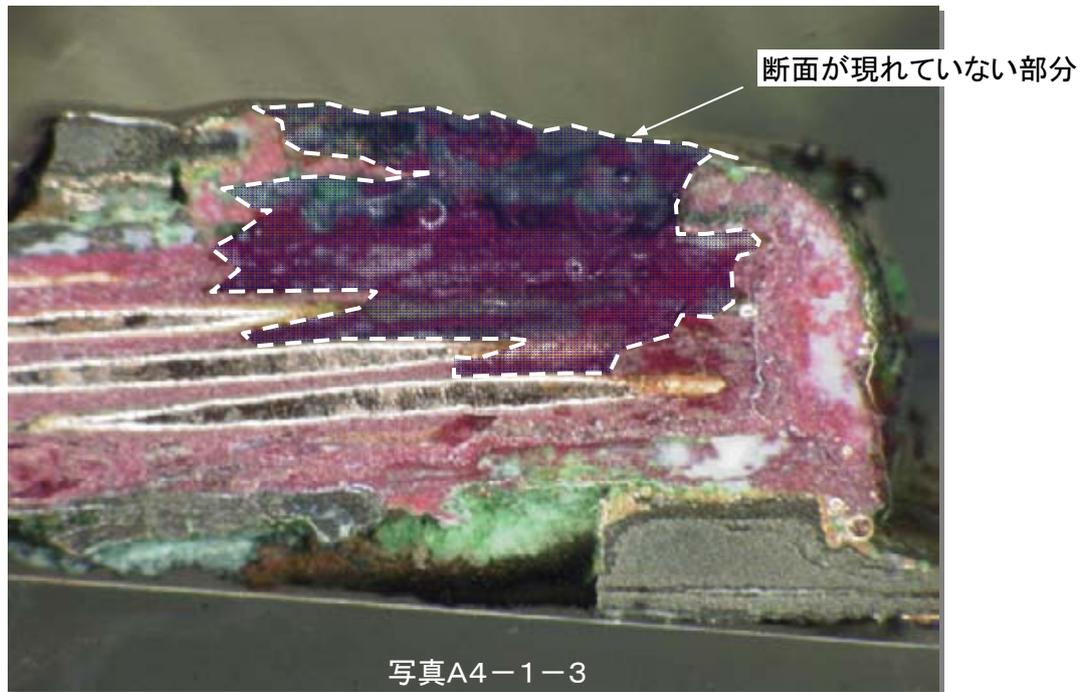


写真A4-1-1



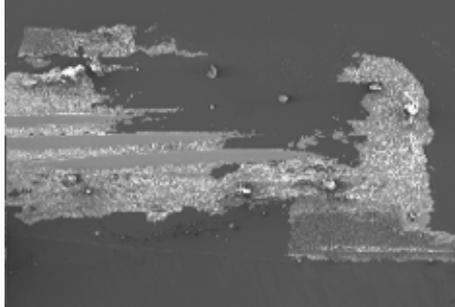
写真A4-1-2

写真A4-1-2は、断線部(写真A4-1-1)の断面。  
中央部の素線は化合物に埋もれている。

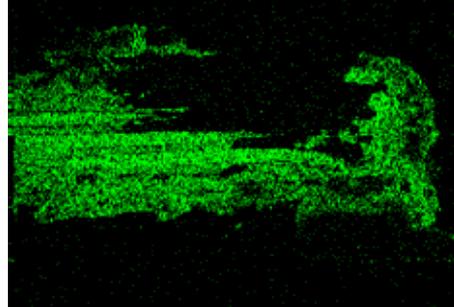


主な検出元素のマッピング分析結果

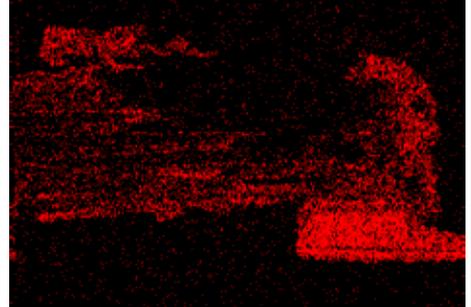
分析部位 SEM像



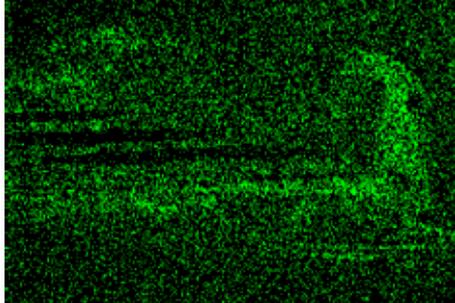
銅の分布



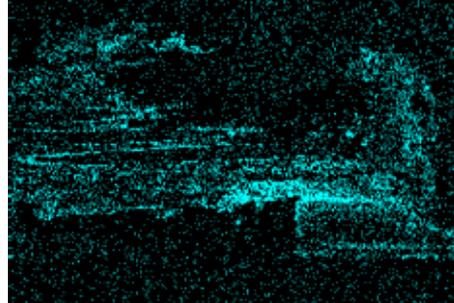
カルシウムの分布



酸素の分布



塩素の分布



炭素の分布

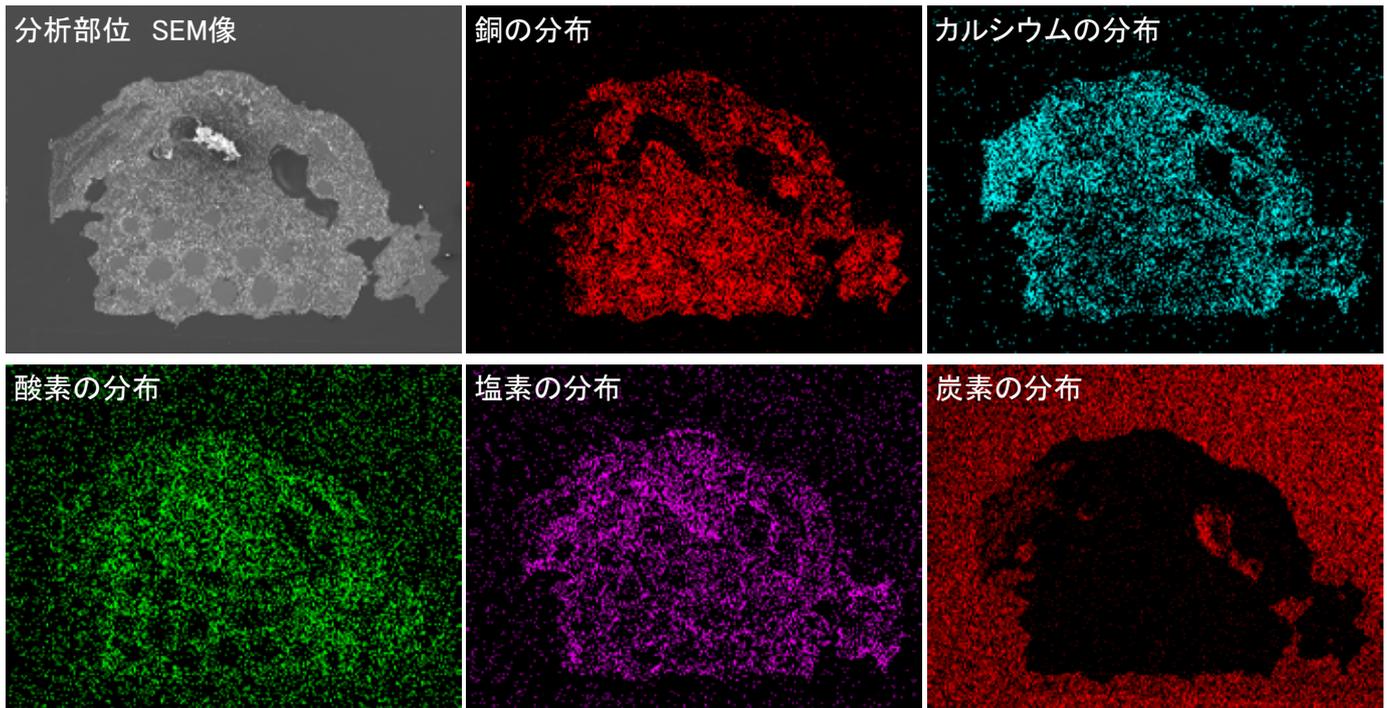


写真A4-1-3は、元素分析のために断線部先端を樹脂埋めして、断面を研磨した分析部位のマイクロスコブ像。

分析部位において、主な検出元素のマッピング分析を行ったところ、素線の形状が残った部分以外からも銅を検出しているほか、先端部や素線間からは被覆に含まれていたと思われる酸素、塩素、カルシウムといった元素を検出した。



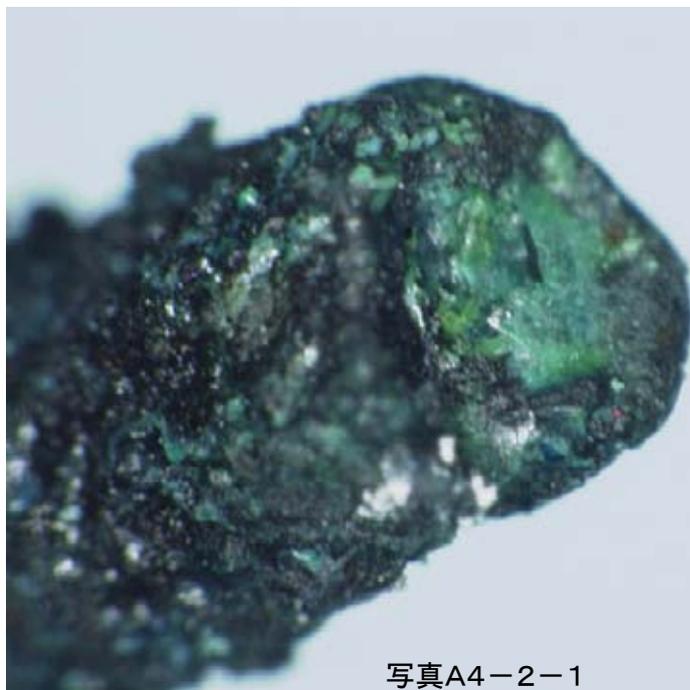
#### 主な検出元素のマッピング分析結果



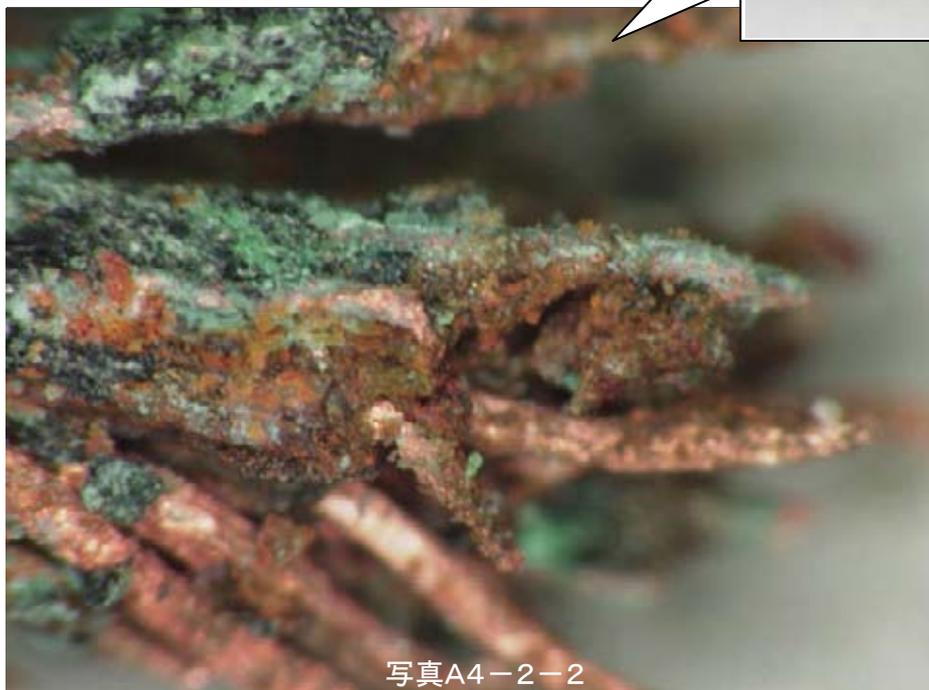
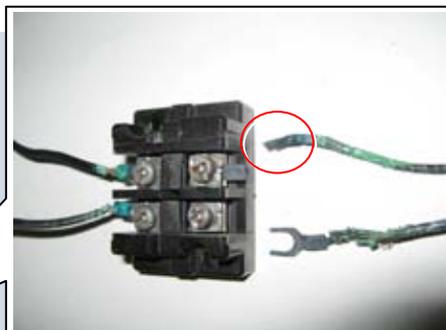
写真A4-1-4は、元素分析のため破壊した断線部先端のうち、写真A4-1-3で示した部位の残りの部分を樹脂埋めして、長手方向に直角の断面を研磨した分析部位のマイクロスコープ像。分析部位において、主な検出元素のマッピング分析を行ったところ、写真A4-1-3と同様に、素線の形状が残った部分以外からも銅を検出しているほか、先端部や素線間からは被覆に含まれていたと思われる塩素、カルシウムといった元素を検出した。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A4	素線間の銅化合物	A4-2	一次被熱(接続不良) ★★★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )		備考: 電流負荷6.7~12.4A Y端子かしめ部出口で溶断 発火までの経過(概略)										
	1 cyc	~	1295 cyc	1296 cyc	~	1821 cyc	1822 cyc	~	2015 cyc	2016 cyc	~	2148 cyc	2149 cyc
	61 °C	~	105 °C	73 °C	~	116 °C	134 °C	~	202 °C	225 °C	~	265 °C	溶断

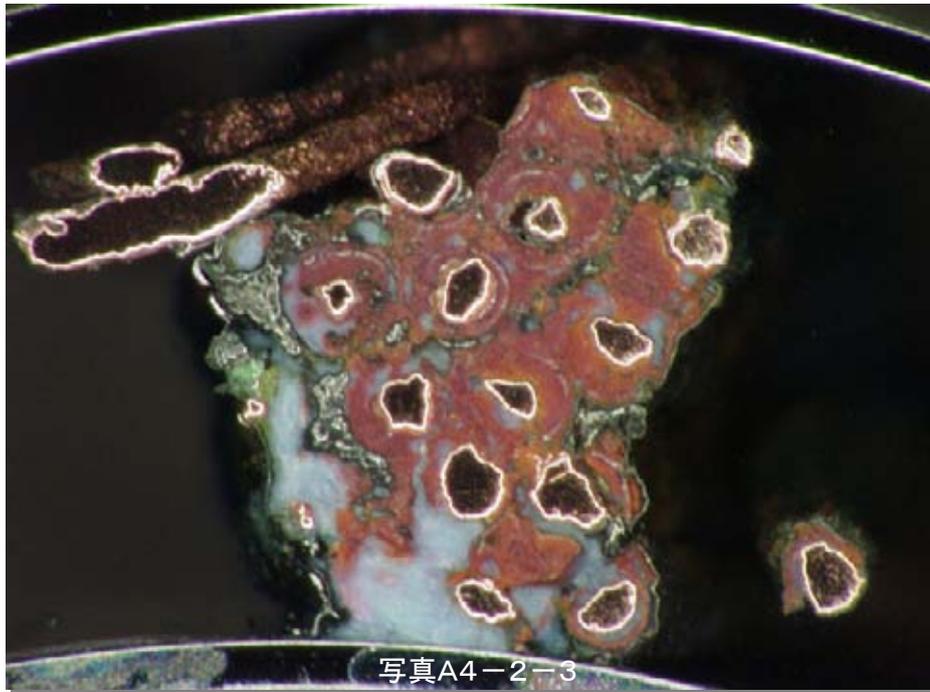


写真A4-2-1



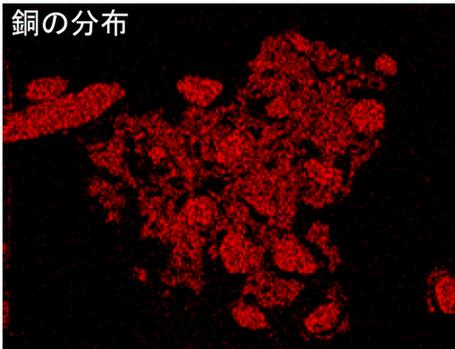
写真A4-2-2

写真A4-2-1は、断線部(吹き出し写真の赤円部分)の拡大。  
写真A4-2-2は、断線部を破壊して内部素線を観察しているところ。素線間に化合物が見られる。

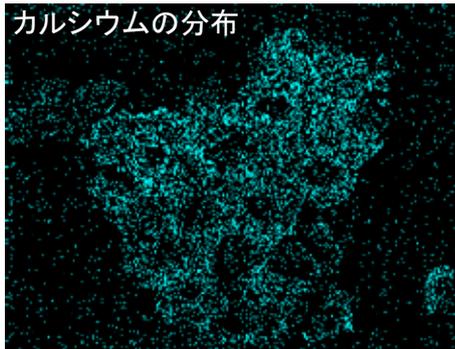


主な検出元素のマッピング分析結果

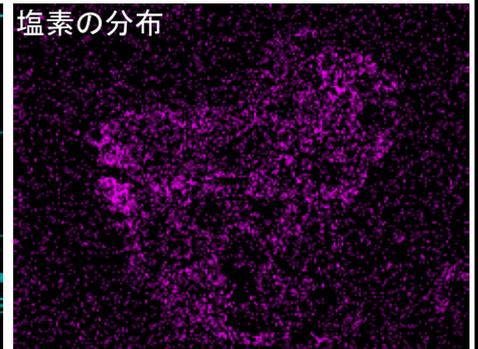
銅の分布



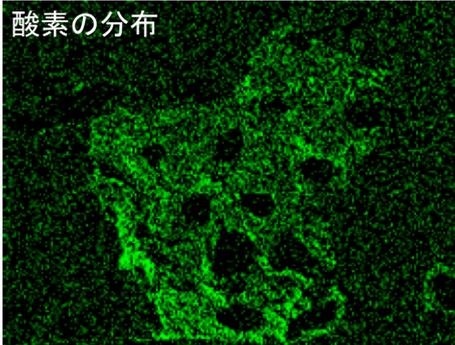
カルシウムの分布



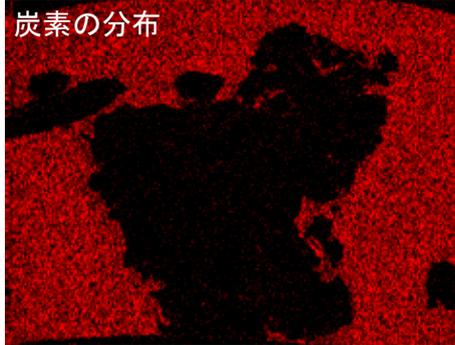
塩素の分布



酸素の分布



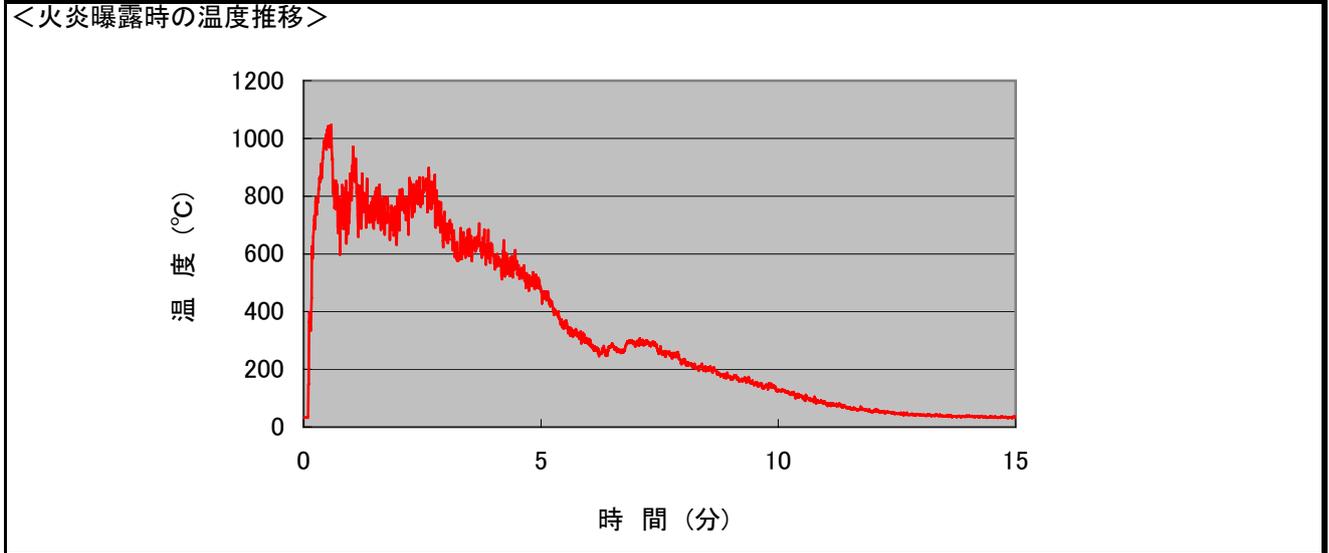
炭素の分布



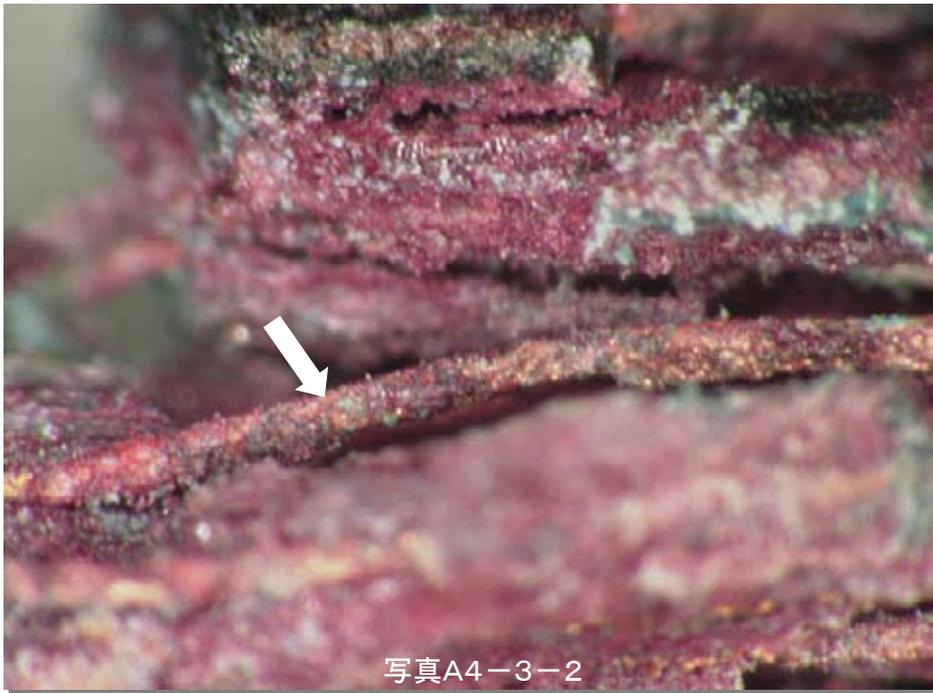
写真A4-2-3は、元素分析のために断線部先端を樹脂埋めして、断面を研磨した分析部位のマイクロスコップ像。  
 分析部位において、主な検出元素のマッピング分析を行ったところ、素線外周部は主に酸化した銅だが、部分的に塩素やカルシウムといった被覆に含まれる元素を検出した。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A4	素線間の銅化合物	A4-3	一次被熱(過電流) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷17.5~24.5A 試料のほぼ中央で溶断		
発火までの経過(概略)			
1 cyc ~ 144 cyc 82 °C ~ 92 °C	145 cyc ~ 1022 cyc 125 °C ~ 130 °C	1023 cyc ~ 1398 cyc 125 °C ~ 165 °C	1399 cyc 溶断

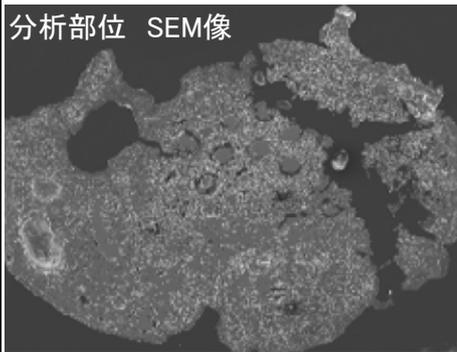


写真A4-3-1は、吹き出し写真の断線部近傍(円部分)の表面酸化層を慎重に解体しているところ。

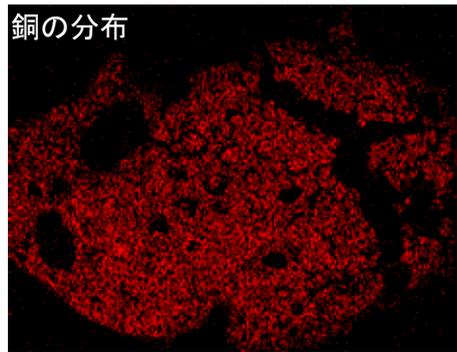


主な検出元素のマッピング分析結果

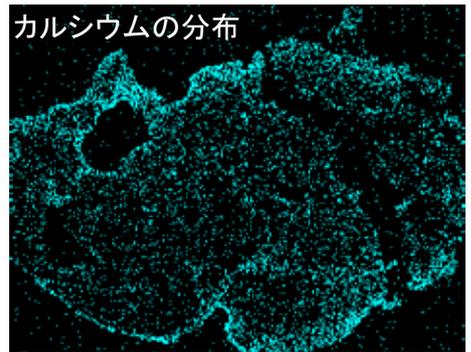
分析部位 SEM像



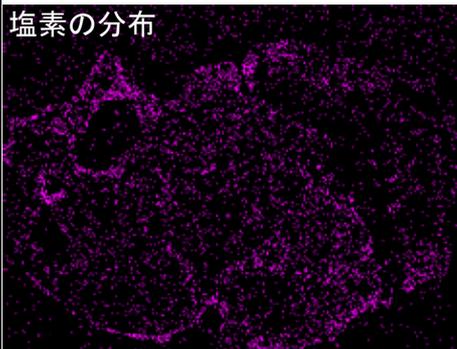
銅の分布



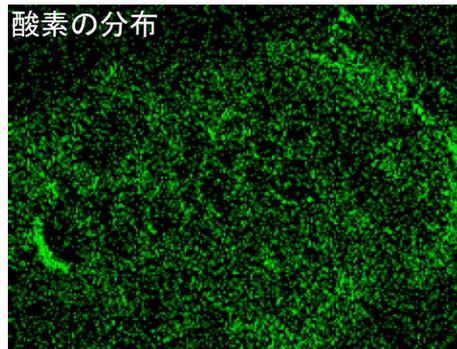
カルシウムの分布



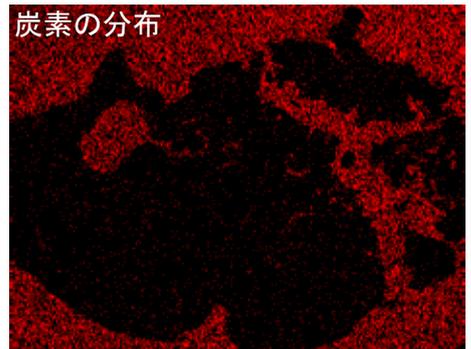
塩素の分布



酸素の分布



炭素の分布



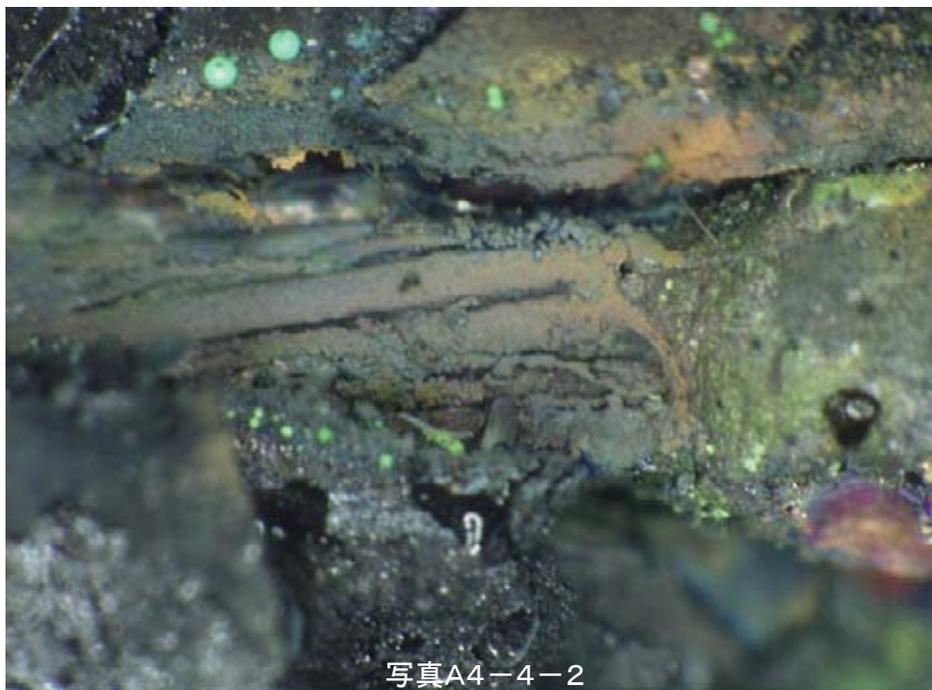
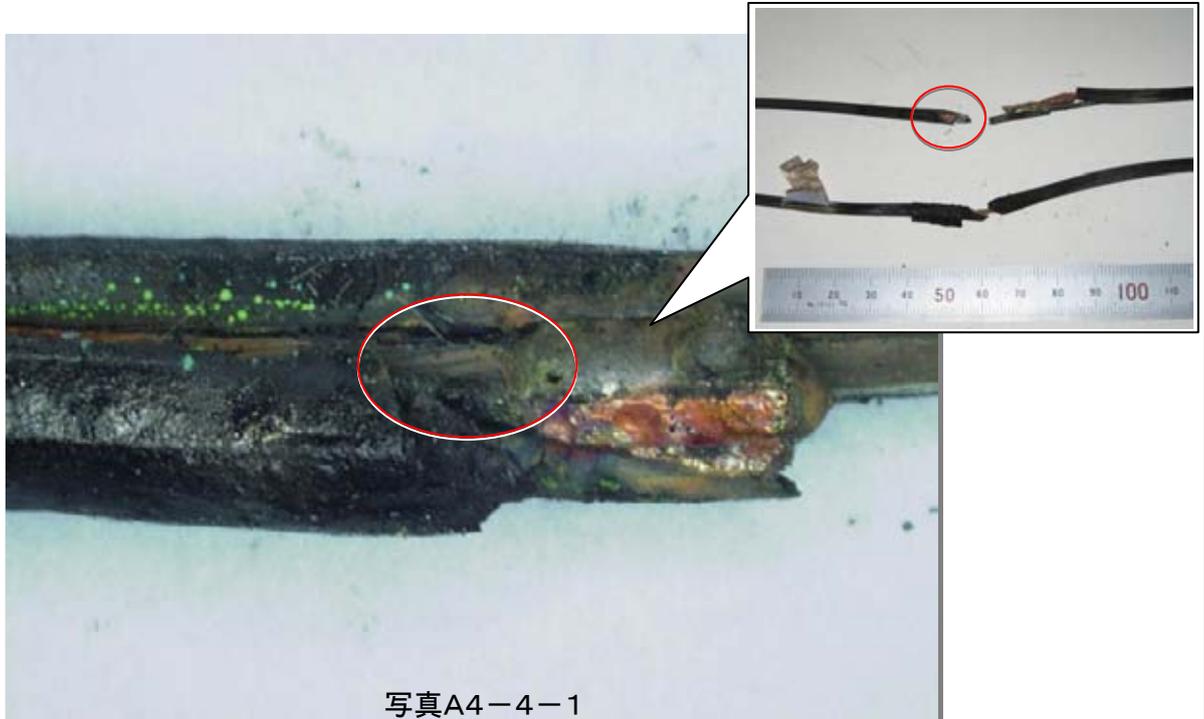
写真A4-3-2は、写真A4-3-1で解体した部分の拡大。

写真中の矢印は、化合物にまみれた素線。

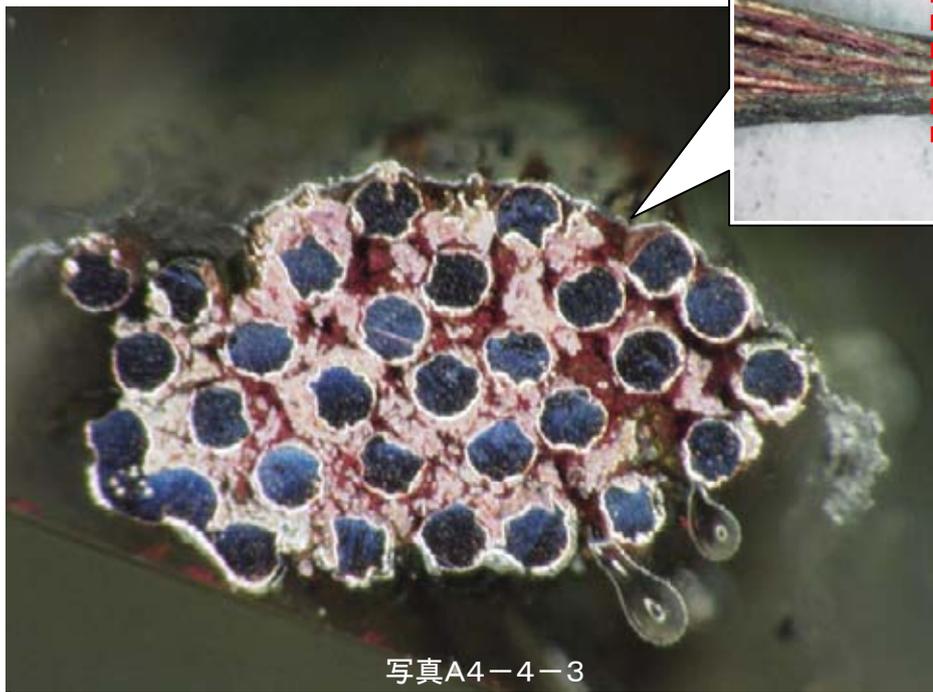
元素分析のために断線部近傍を樹脂埋めして断面を研磨し、主な検出元素のマッピング分析を行った結果、検出した元素や内部の状況は一次被熱サンプルと同様であり(A4-1参照)、素線間の銅化合物は火炎曝露前の状態をほぼとどめている。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A4	素線間の銅化合物	A4-4	一次被熱(過電流) ★★★

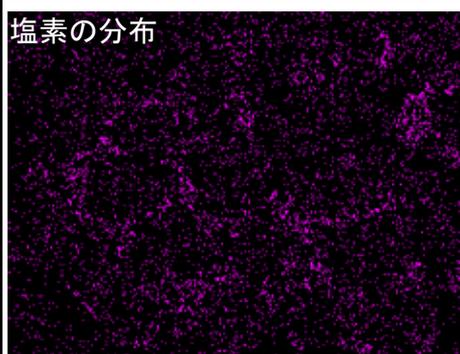
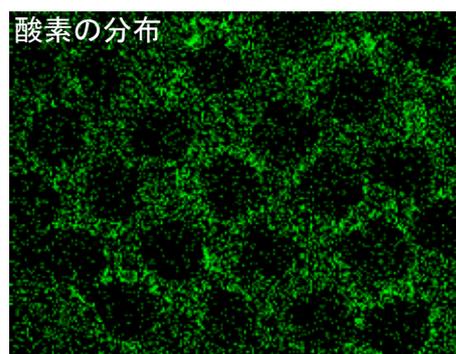
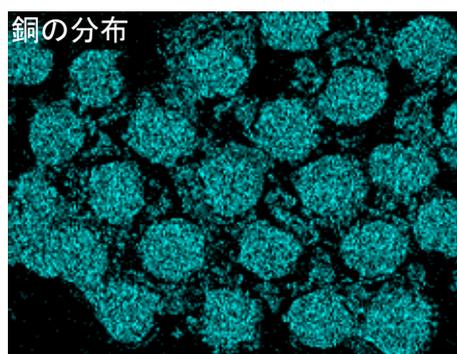
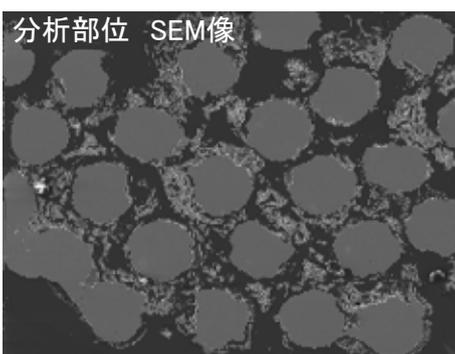
参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )		備考: 電流負荷20~28A 試料のほぼ中央で溶断 発火までの経過(概略)										
	1 cyc	~	383 cyc	384 cyc	~	527 cyc	528 cyc	~	1511 cyc	1512 cyc	~	2053 cyc	2054 cyc
	118 °C	~	139 °C	332 °C	~	374 °C	108 °C	~	165 °C	118 °C	~	430 °C	溶断



写真A4-4-1は、一次被熱(過電流)条件による発火直後の状態で、吹き出し写真の円部分を拡大したもの。  
また、写真A4-4-2は写真A4-4-1の円部分を更に拡大したもの。断線部直近の素線の状態。素線表面に付着物が見られる。



主な検出元素のマッピング分析結果



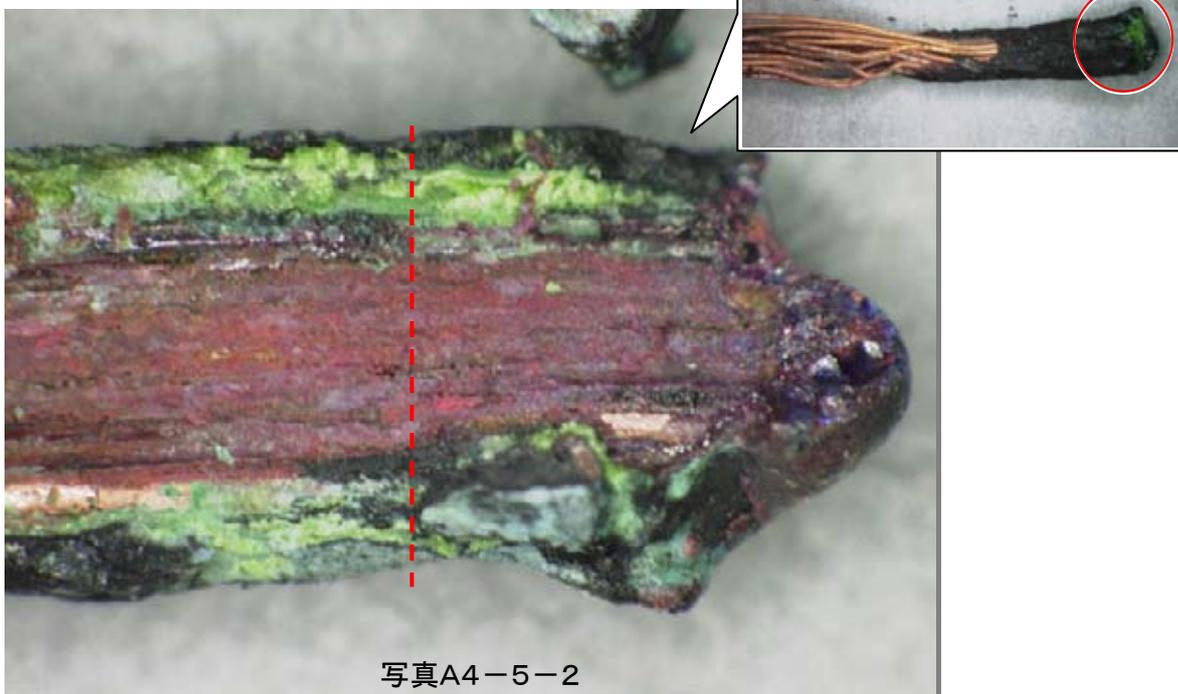
写真A4-4-3は、元素分析のために吹き出し写真部分(写真A4-4-1の円部分)を樹脂埋めして、点線部分の断面を研磨した分析部位のマイクロSCOPE像。  
 分析部位において、主な検出元素のマッピング分析を行ったところ、素線の形状が残っている部分以外でも銅を検出し、素線外周部からは酸素も検出した。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A4	素線間の銅化合物	A4-5	一次被熱(接続不良) ★★★

参考 データ	試料: No. 3 (NFF 0.75mm <sup>2</sup> )		備考: 電流負荷7.7~12A Y端子かしめ部出口で溶断 発火までの経過(概略)							
	1 cyc 56 °C	~ 1151 cyc 134 °C	1152 cyc 81 °C	~ 1487 cyc 91 °C	1488 cyc 110 °C	~ 1703 cyc 132 °C	1704 cyc 135 °C	~ 1743 cyc 163 °C	1744 cyc 溶断	

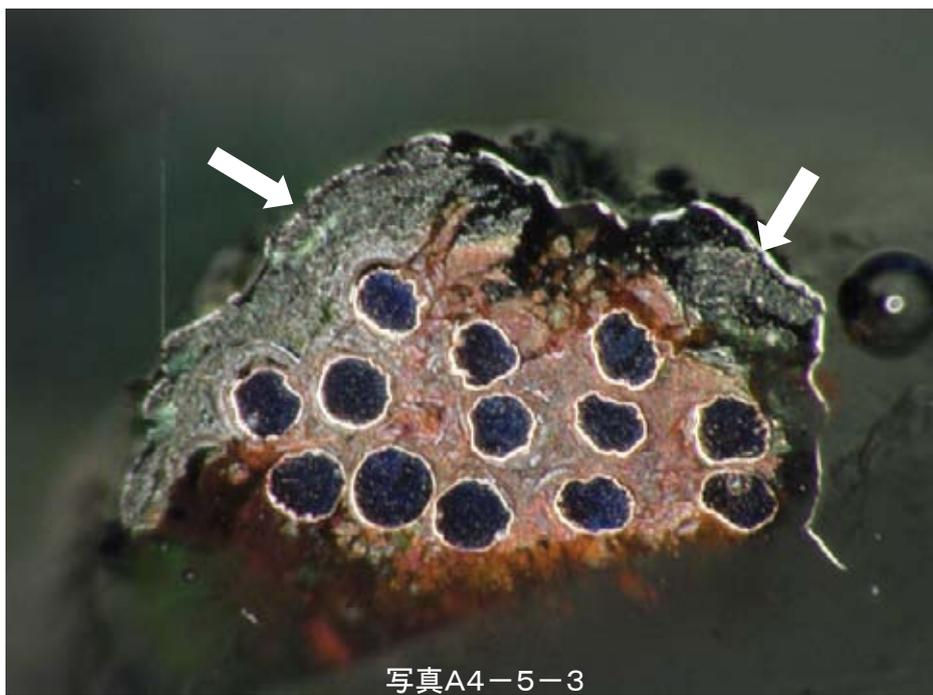


写真A4-5-1

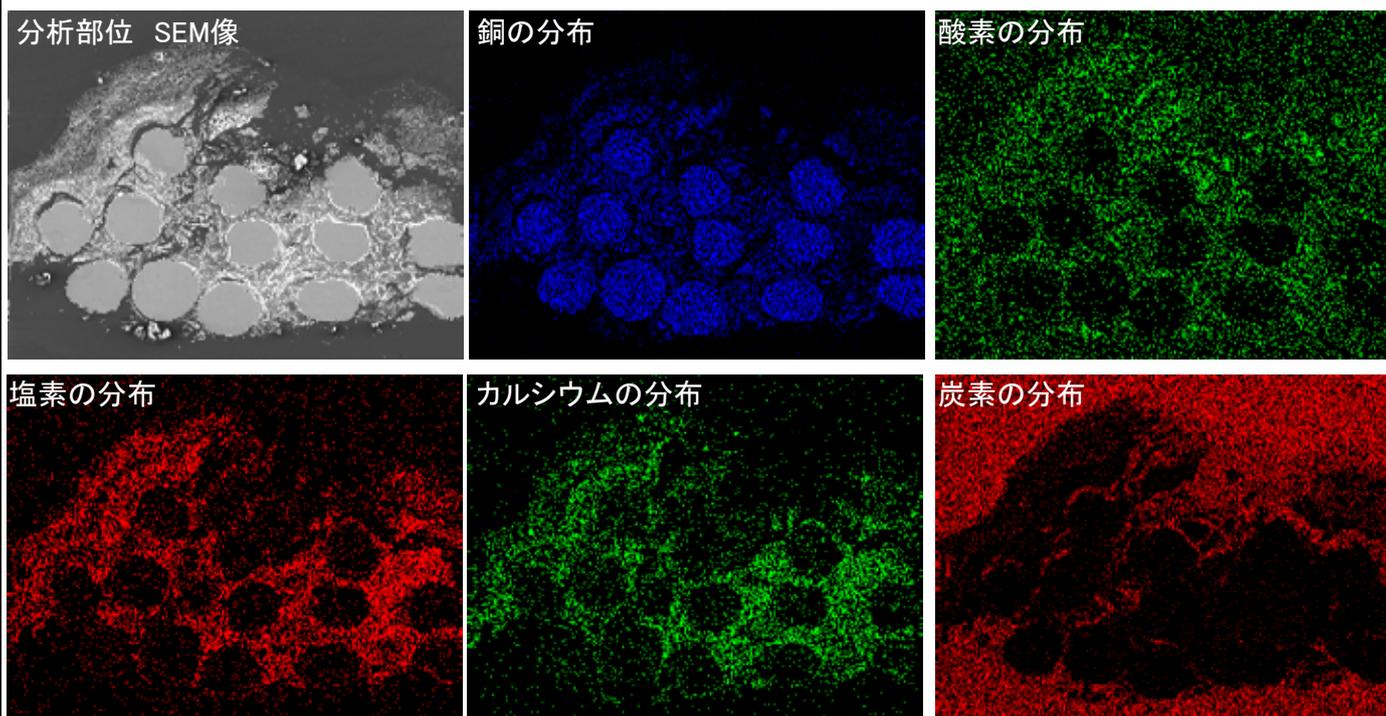


写真A4-5-2

写真A4-5-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後の断線部で、吹き出し写真の円部分を拡大したもの。被覆は硬化していたが、脆く容易に取り除くことができた。  
写真A4-5-2は、写真A4-5-1から被覆部分を除去し(吹き出し写真)した後、破壊して断面を観察している状態。素線は赤紫色の化合物に埋もれている。吹き出し写真の上側は新品試料。



主な検出元素のマッピング分析結果



写真A4-5-3は、元素分析のために写真A4-5-2を樹脂埋めして、点線で示した部分の断面を研磨した分析部位のマイクロスコップ像。  
 分析部位において、主な検出元素のマッピング分析を行ったところ、矢印で示した部分は被覆炭化物と思われたが、被覆に含まれていたと思われる塩素やカルシウムのほか銅及び酸素も検出された。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A4	素線間の銅化合物	A4-6	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 3 (NNFF 0.75mm<sup>2</sup>)

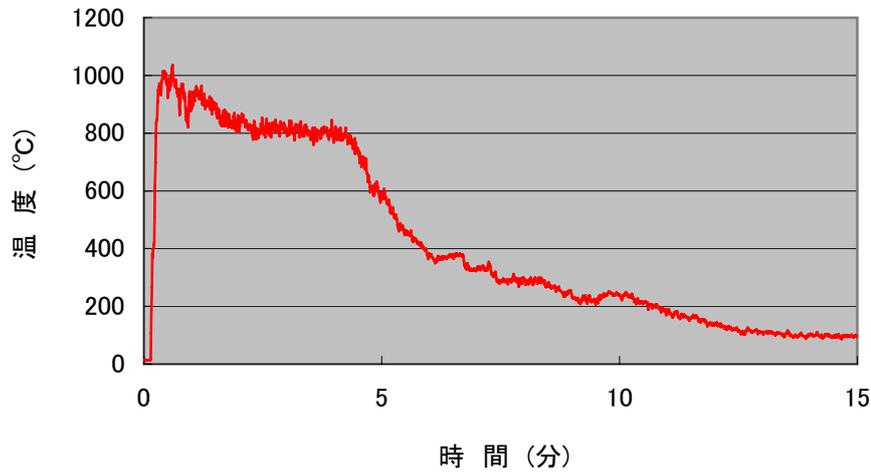
備考: 電流負荷7.7~12A Y端子かしめ部出口で溶断

発火までの経過(概略)

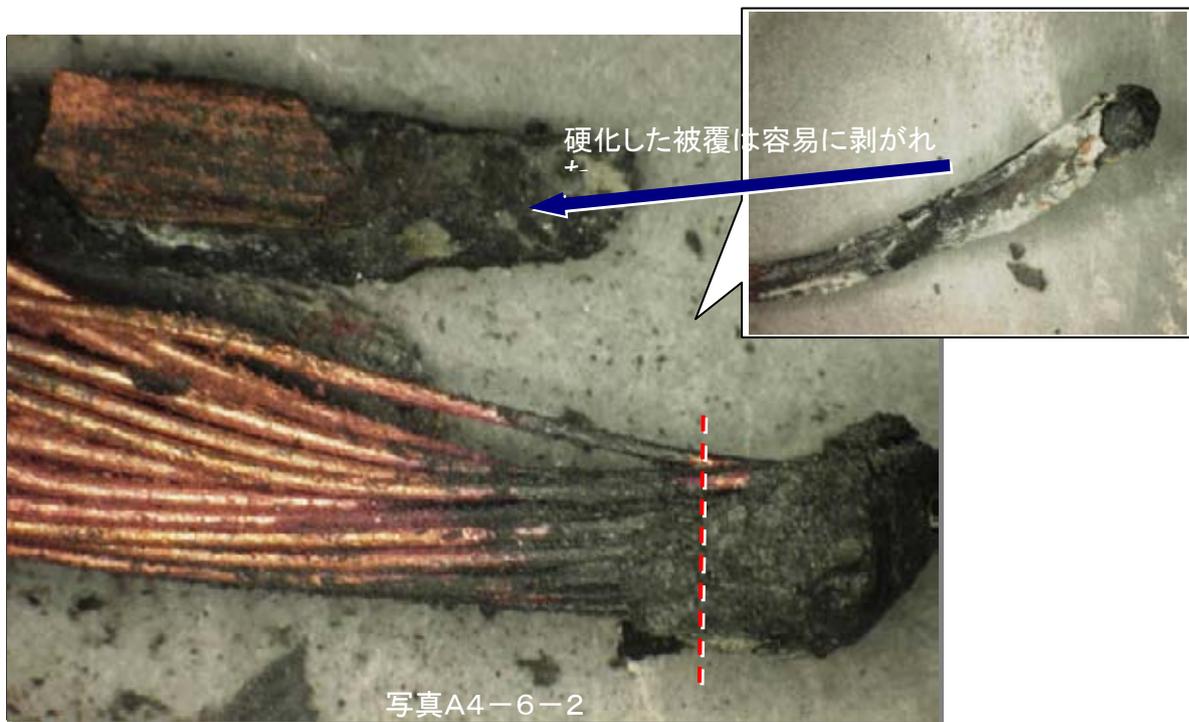
1 cyc ~ 60 °C	335 cyc ~ 114 °C	336 cyc ~ 132 °C	887 cyc ~ 189 °C	888 cyc ~ 163 °C	1487 cyc ~ 190 °C	1488 cyc ~ 190 °C	2030 cyc ~ 248 °C	2031 cyc 溶断
---------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------

<火炎曝露時の温度推移>

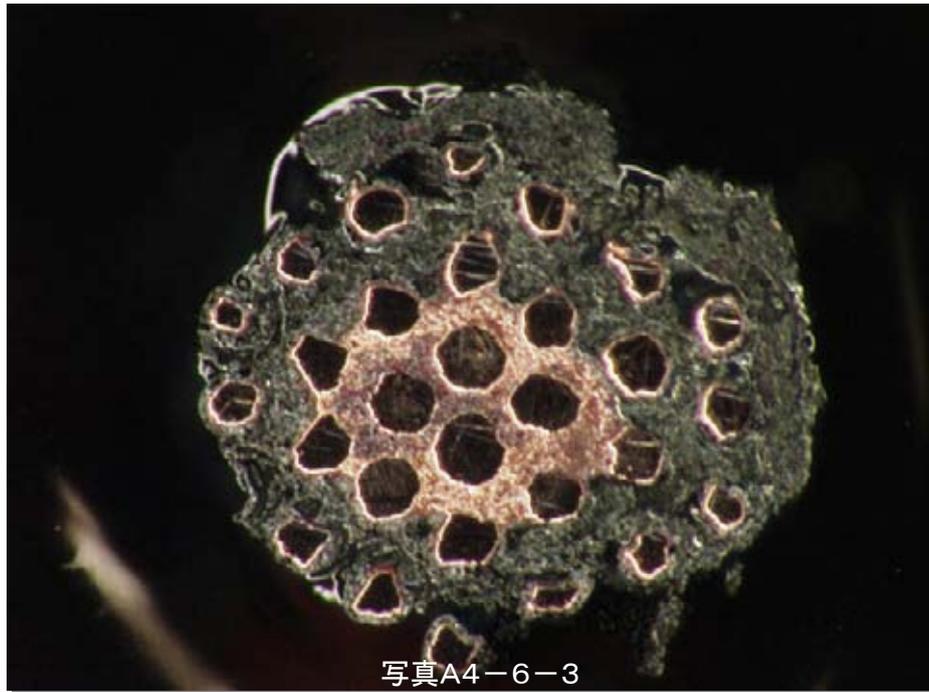
参考  
データ



写真A4-6-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火直後の断線部で吹き出し写真の赤円で示した部分。  
断線部周辺ではコードを曲げることができないほど被覆が硬化していた。

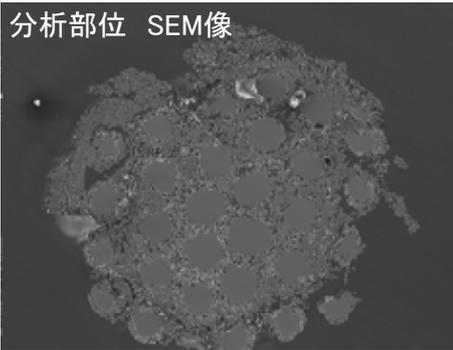


写真A4-6-2は、火炎曝露後の断線部の被覆部分を取り除いた状態で、吹き出し写真の硬化した表面被覆は容易に剥がすことができた。  
元素分析のために、写真A4-6-2の断線部を樹脂埋めして、点線で示した断面を研磨した。

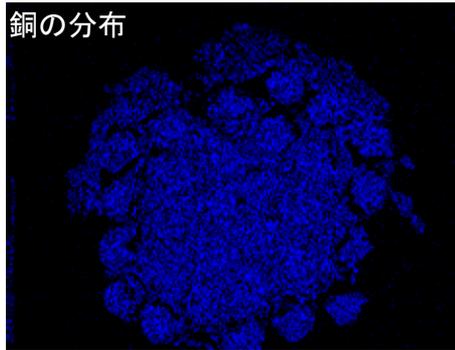


主な検出元素のマッピング分析結果

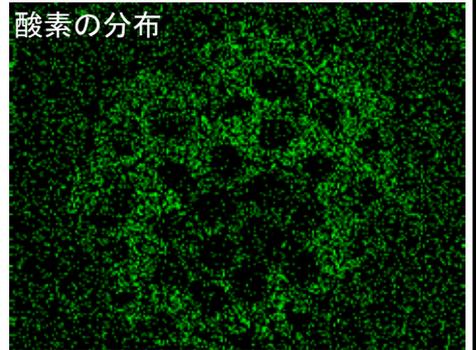
分析部位 SEM像



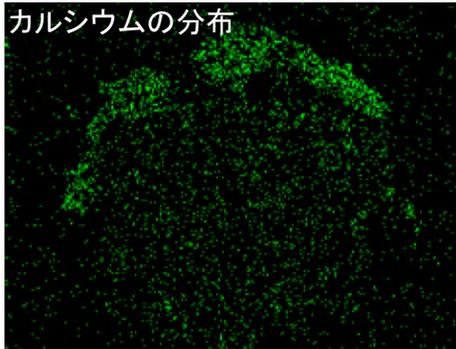
銅の分布



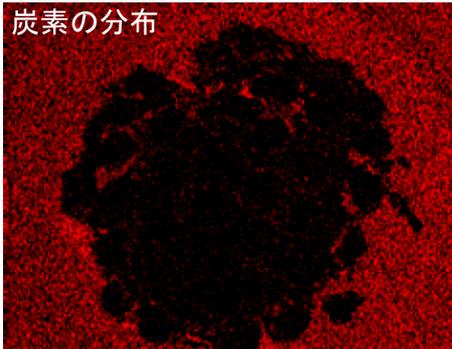
酸素の分布



カルシウム



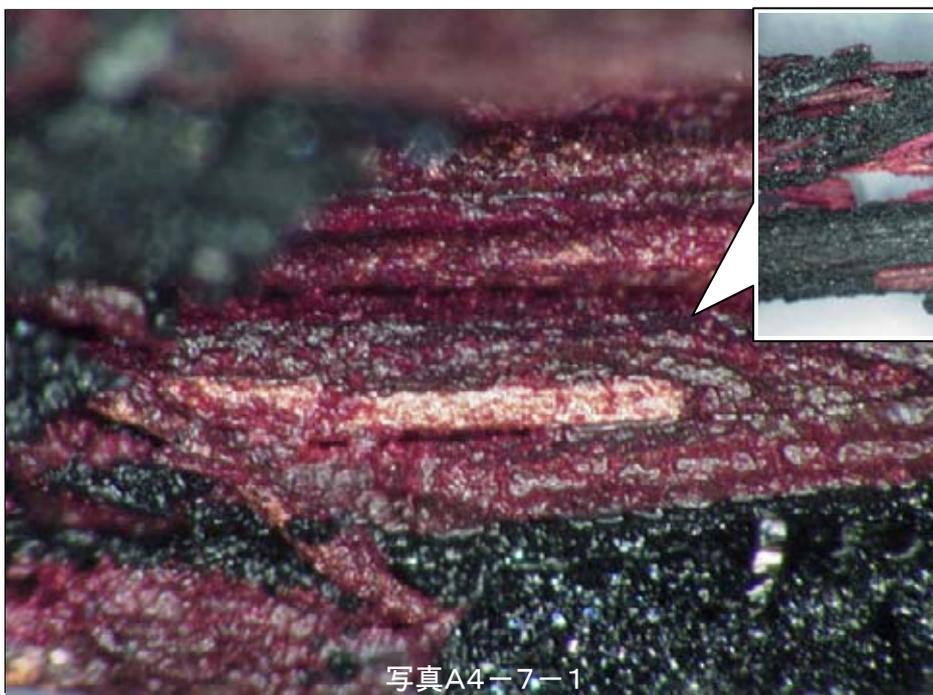
炭素の分布



写真A4-6-3は、写真A4-6-2の点線で示した断面を研磨した分析部位のマイクロスコップ像。分析部位において、主な検出元素のマッピング分析を行ったところ、断線部近傍で素線の銅が断面の全体に拡散し、外周部からは酸素を検出した。この特徴は別サンプル(A4-5参照)との比較から判断し、火炎曝露前の状態をほぼとめていると考えられる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A4	素線間の銅化合物	A4-7	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 60 分	

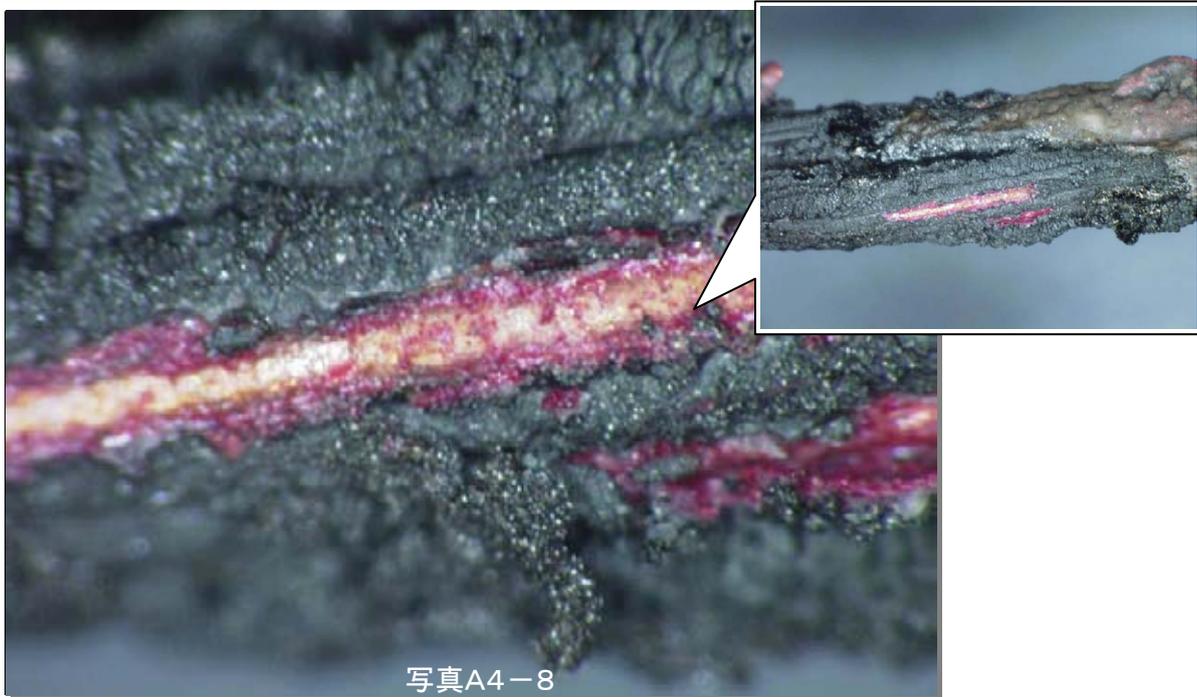


写真A4-7-1及び写真A4-7-2の加熱後のサンプル素線間には、一見、一次被熱サンプルと類似の銅化合物が見られたが、一次被熱サンプル特有の素線間の隙間を埋め尽くすほどの堆積状態とは明らかに異なる。

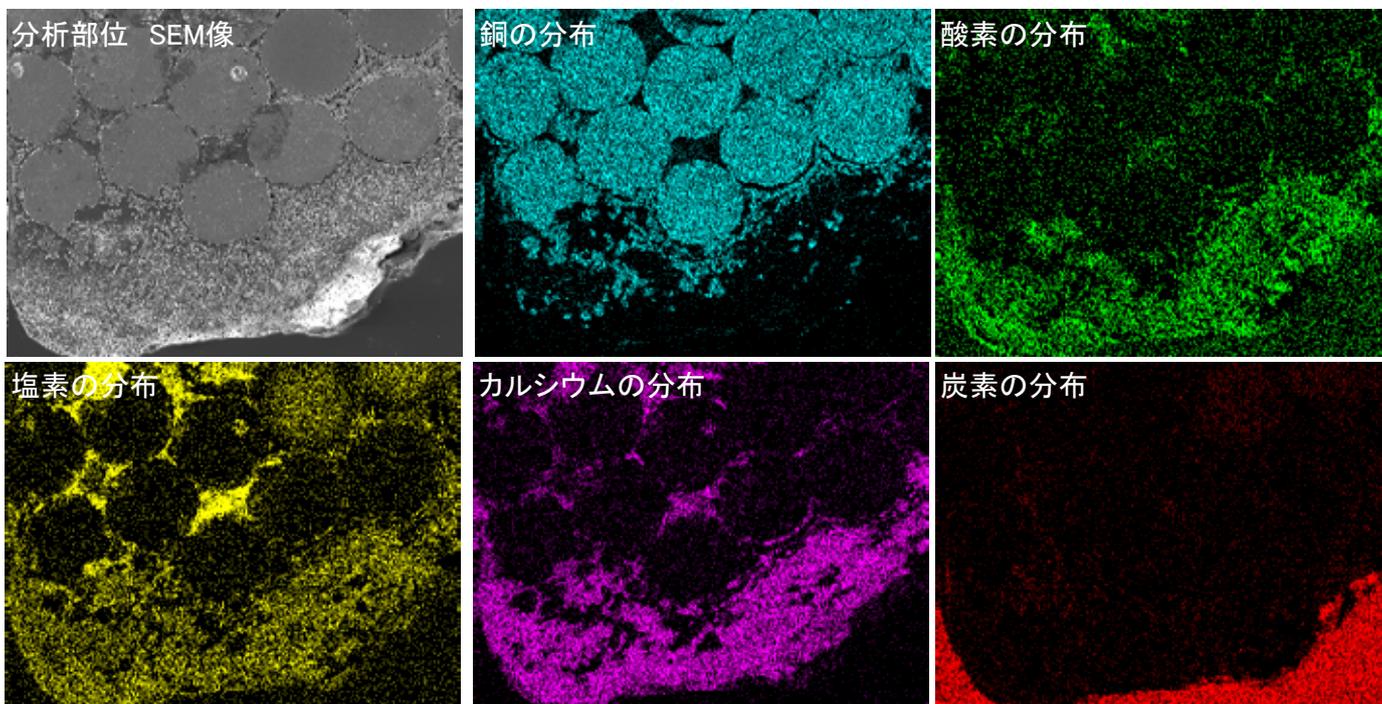
なお、本サンプルの加熱条件は600°C 60分と過酷なものであり、特殊条件下(本文1頁参照)でないとはほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A4	素線間の銅化合物	A4-8	二次被熱(電気炉加熱) ★★★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 10 分	



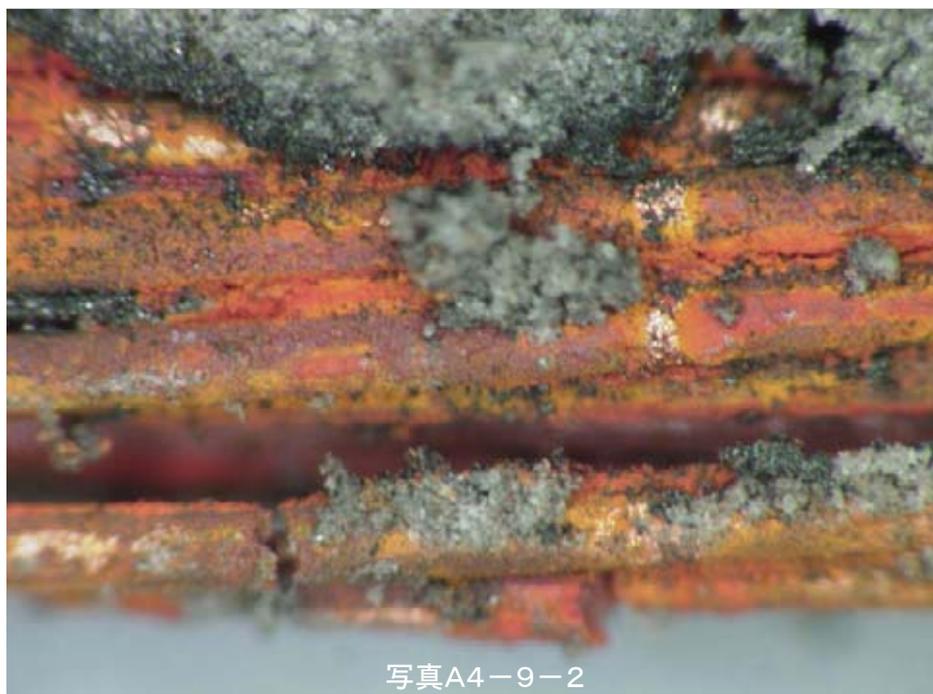
主な検出元素のマッピング分析結果



写真A4-8の加熱後のサンプル素線間に見られる赤紫色の層は、一見、一次被熱サンプルと類似しており、また、主な検出元素の分布状況から、銅が素線の外側にも分布している様子が見られるが、一次被熱サンプル特有の素線間の隙間を埋め尽くすほどの堆積状態とは明らかに異なる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
A4	素線間の銅化合物	A4-9	二次被熱(電気炉加熱) ★

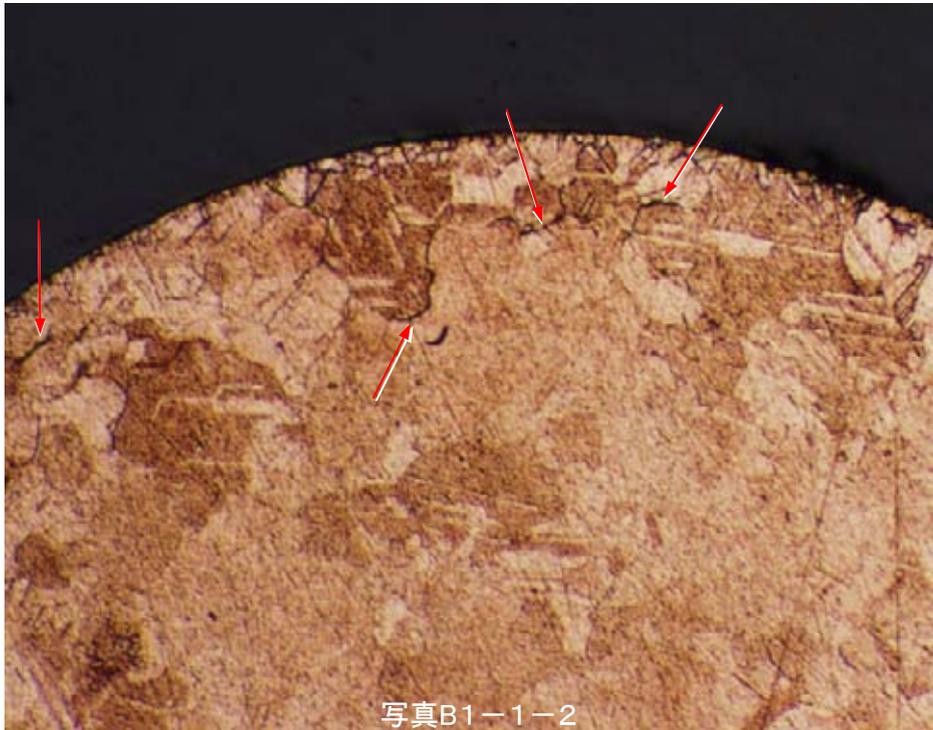
参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 400 °C 加熱時間: 60 分	



写真A4-9-1及び写真A4-9-2の加熱後のサンプル素線間には、一見、一次被熱サンプルと類似の銅化合物が見られたが、一次被熱サンプル特有の素線間の隙間を埋め尽くすほどの堆積状態とは明らかに異なる。  
 なお、本サンプルの加熱条件は400°C 60分と過酷なものであり、特殊条件下(本文1頁参照)でないとはほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-1	二次被熱(電気炉加熱) ★★★

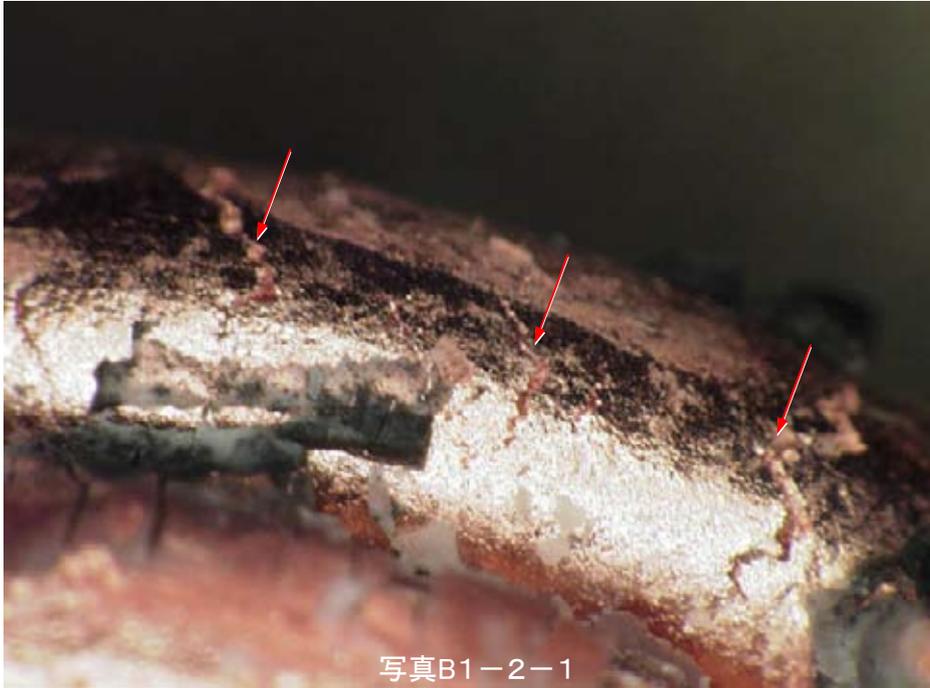
参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 10 分	



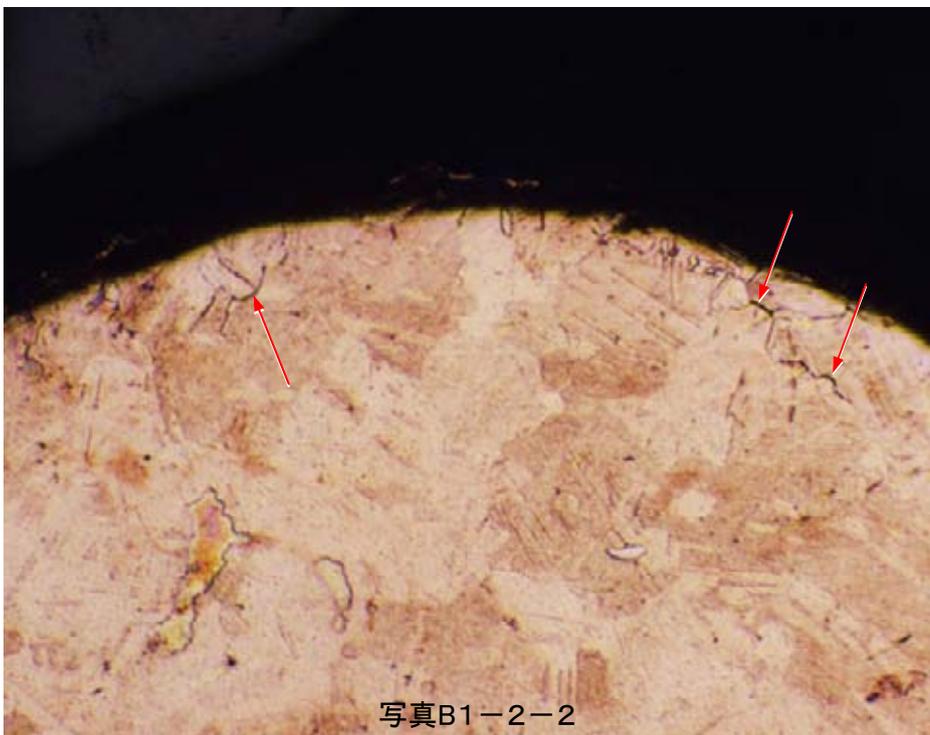
写真B1-1-1は、加熱後のサンプルをハンドリングにより折り曲げている様子で、外観上は折損、亀裂は生じていない。  
 写真B1-1-2はサンプルの折り曲げ部近傍を樹脂埋めして、断面を研磨した後の金属顕微鏡写真。断面には粒界割れが見られた。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-2	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 30 分	



写真B1-2-1

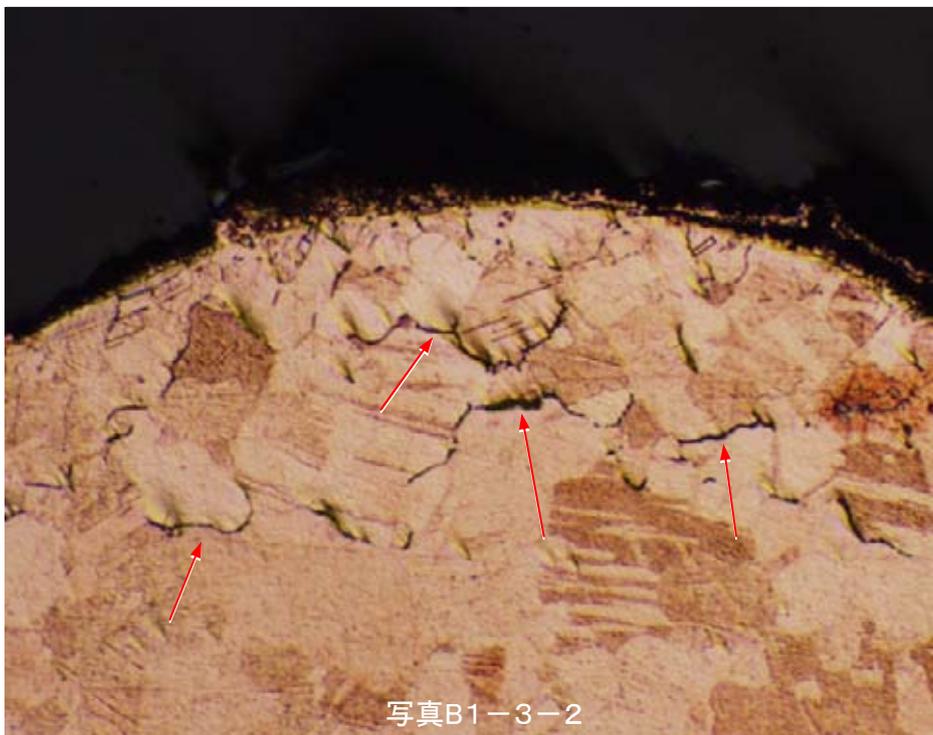
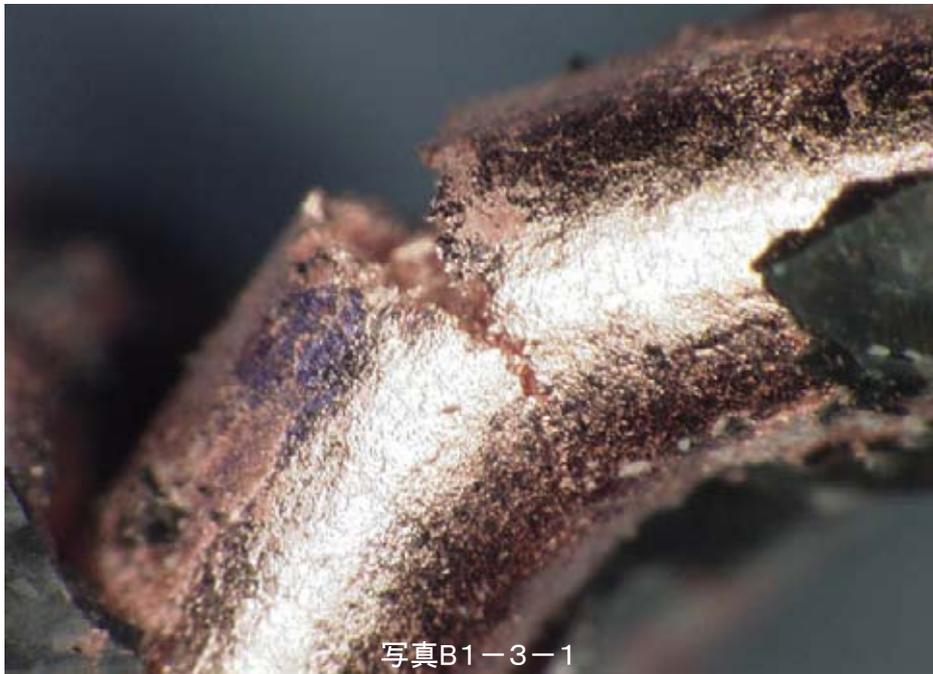


写真B1-2-2

写真B1-2-1は、加熱後のサンプルをハンドリングにより折り曲げた際に生じた亀裂。心線の銅素地及び割れの断面には強い光沢が見られる。  
 写真B1-2-2は、サンプルの折り曲げ部近傍を樹脂埋めして、断面を研磨した後の金属顕微鏡写真。断面には粒界割れが見られた。  
 なお、本サンプルの加熱条件は800°C 30分と過酷なものであり、特殊条件下(本文1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-3	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 60 分	



写真B1-3-1は、加熱後のサンプルをハンドリングにより折り曲げた際に生じた亀裂。心線の銅素地及び割れの断面には強い光沢が見られる。

写真B1-3-2は、サンプルの折り曲げ部近傍を樹脂埋めして、断面を研磨した後の金属顕微鏡写真。断面には粒界割れが見られた。

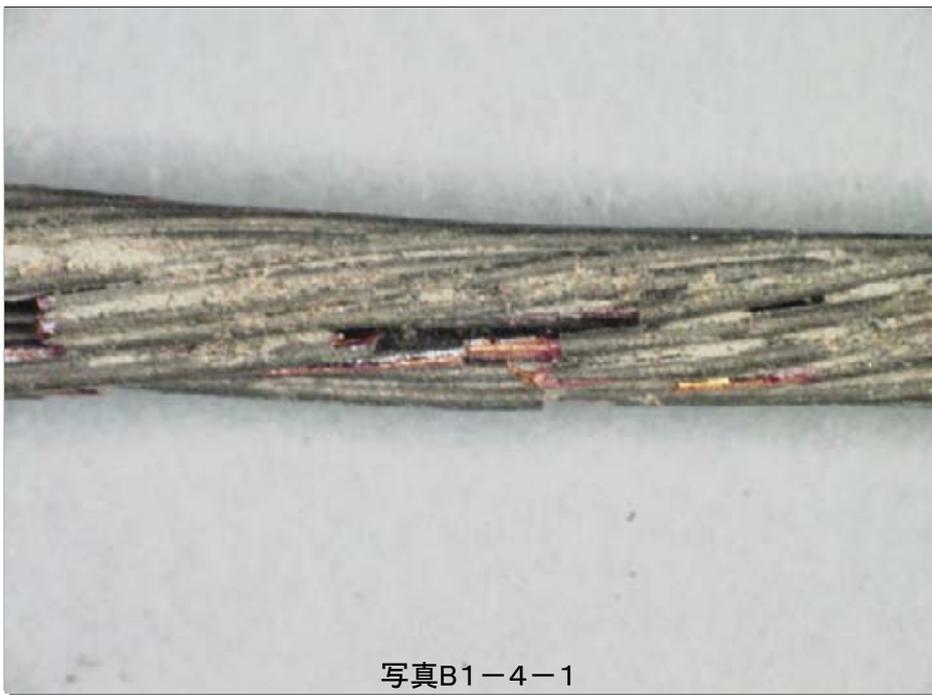
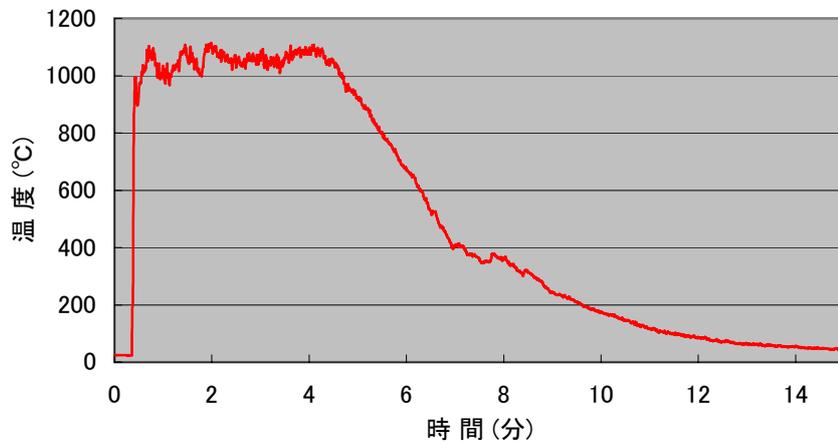
なお、本サンプルの加熱条件は800°C 60分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないといほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-4	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

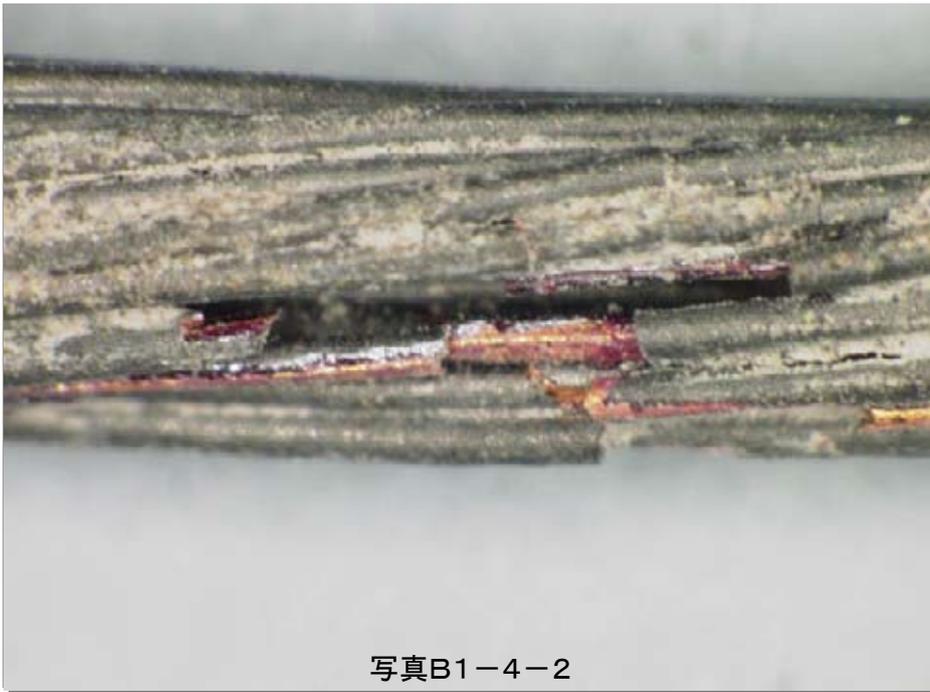
試料: No. 3 (NFF 0.75mm<sup>2</sup>) 備考:

< 炉内の温度推移 >

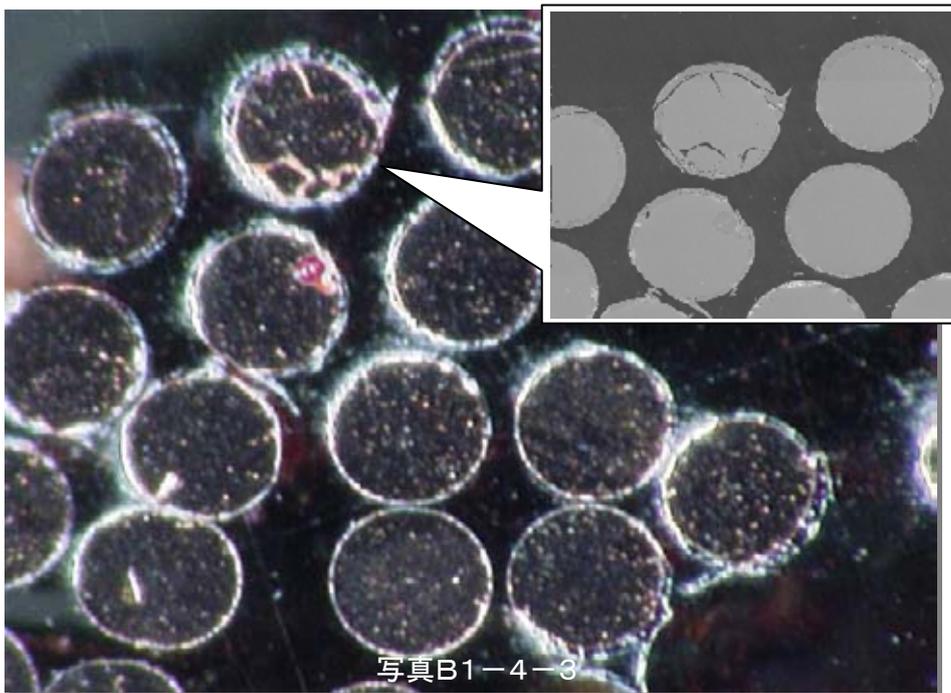
参考  
データ



写真B1-4-1は、加熱後のサンプルでクリブ炉から取り出す際、容易に折損した。



写真B1-4-2

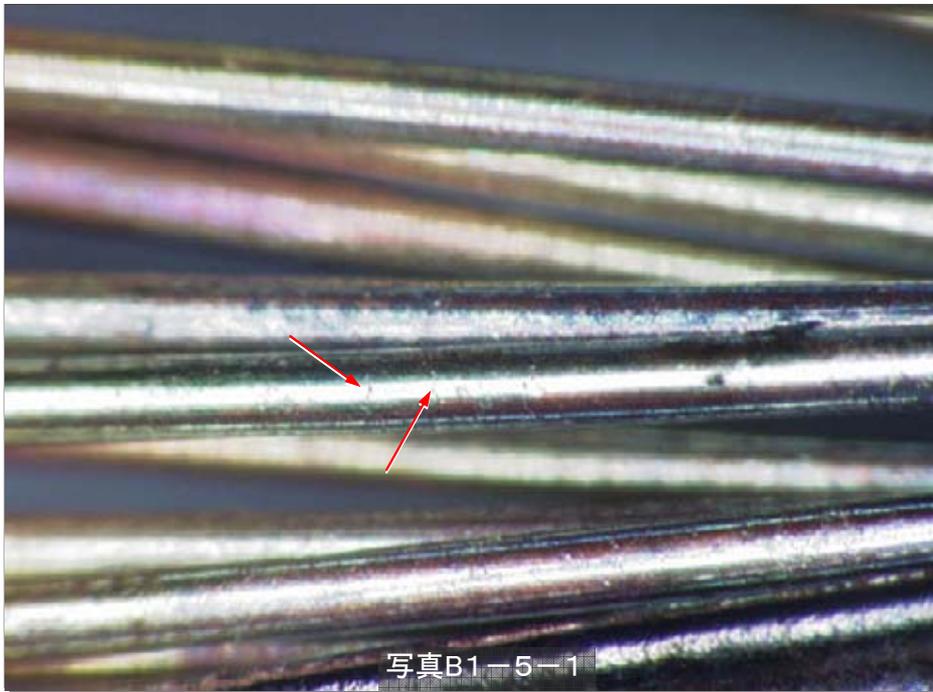


写真B1-4-3

写真B1-4-2は、写真B1-4-1の折損した素線の拡大。  
写真B1-4-3は、サンプルを樹脂埋めして、断面を研磨しマイクロスコープで撮影したもの。吹き出し中の画像は電子顕微鏡で撮影したもので、断面には粒界割れと思われる亀裂が発生している。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-5	二次被熱(バーナ加熱) ★★★

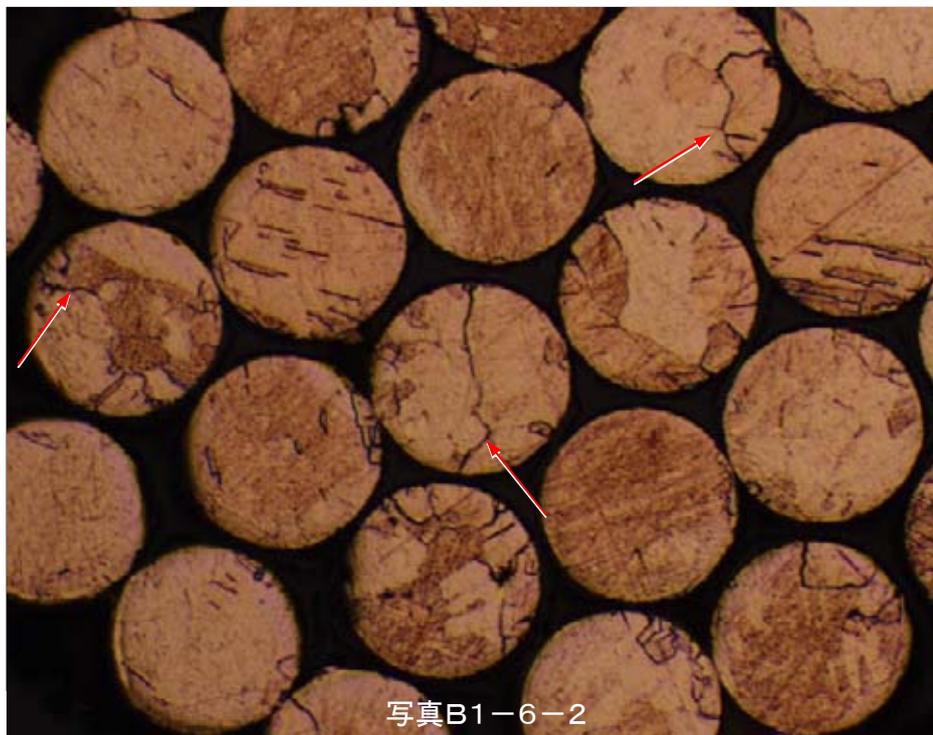
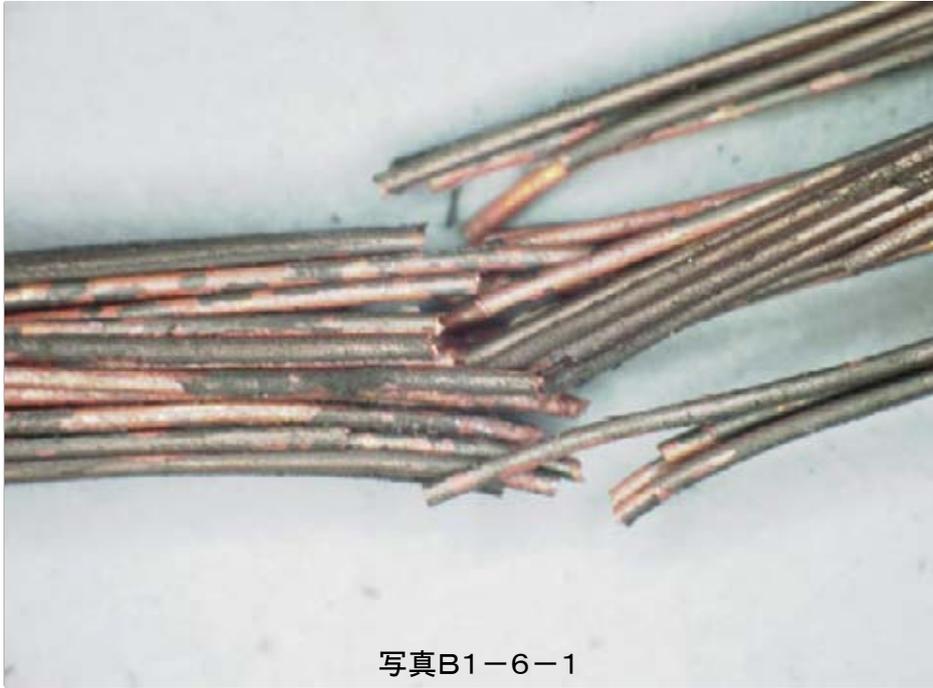
参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 10 分	



写真B1-5-1は、加熱後のサンプル表面に見られた亀裂。  
 写真B1-5-2は、サンプルを樹脂埋めして研磨した後の金属顕微鏡像。断面に粒界割れが見られた。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-6	二次被熱(バーナ加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 20 分	



写真B1-6-1は、折損した加熱後のサンプル。  
 写真B1-6-2は、サンプルを樹脂埋めして研磨した断面。金属顕微鏡で観察したところ、粒界割れが見られた。  
 なお、本サンプルの加熱条件は800°C 20分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-7	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 400 °C 加熱時間: 60 分	



写真B1-7-1



写真B1-7-2

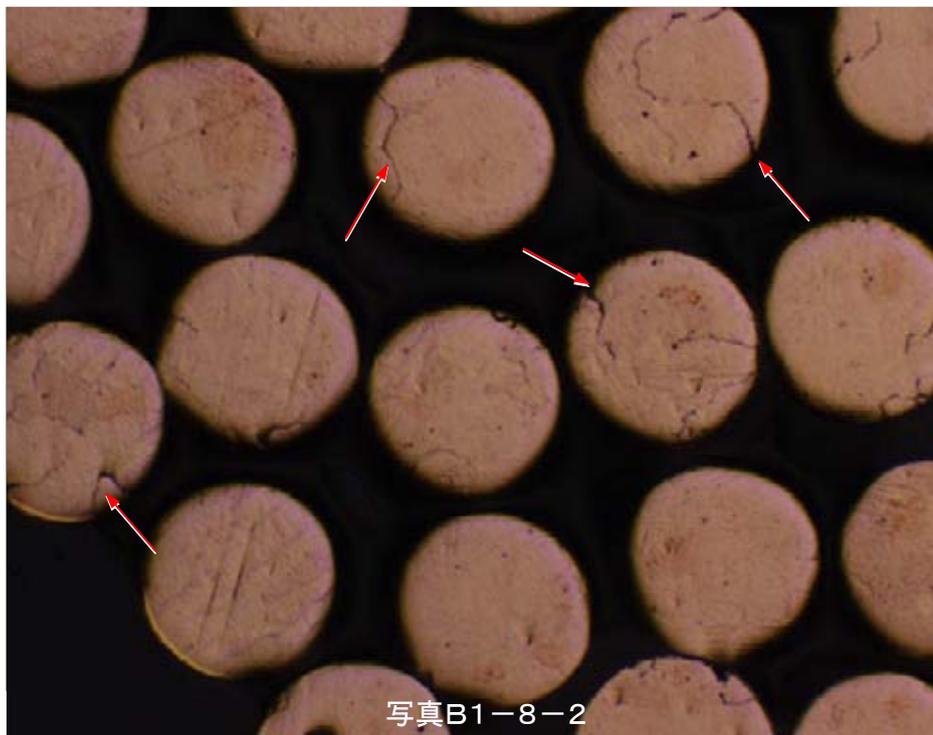
写真B1-7-1は、加熱後のサンプル表面に見られた折損の状況。  
 写真B1-7-2は、サンプルを樹脂埋めして研磨した断面。金属顕微鏡で観察したところ、粒界割れが見られた。  
 なお、本サンプルの加熱条件は400°C 60分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないといほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-8	二次被熱(電気炉加熱) ★★★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 10 分	



写真B1-8-1

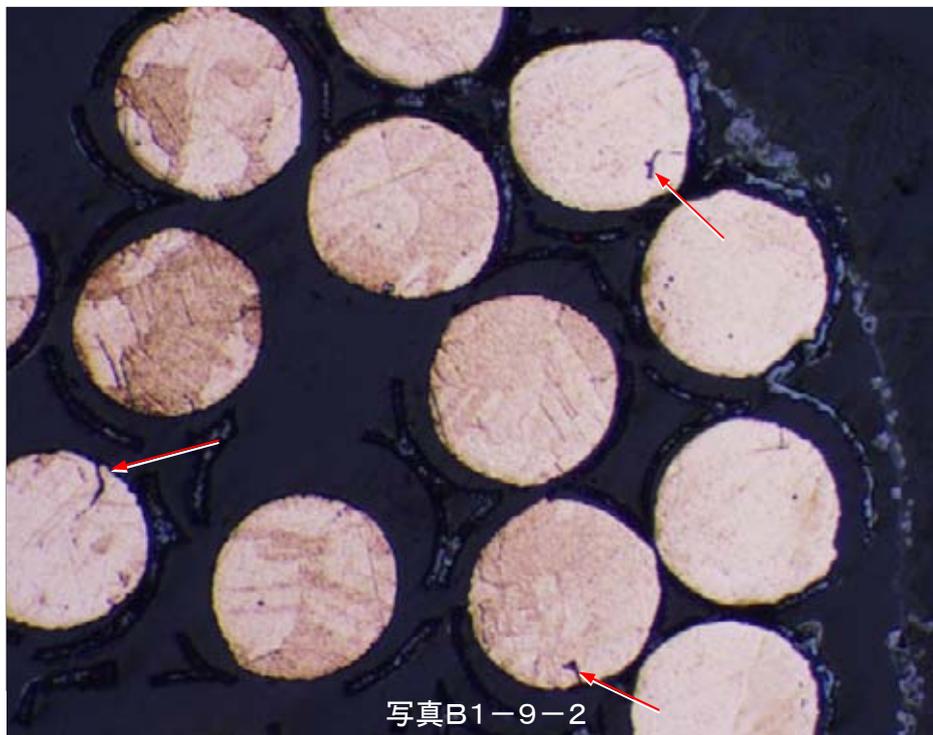


写真B1-8-2

写真B1-8-1は、加熱後のサンプル表面に見られた亀裂。  
 写真B1-8-2は、サンプルを樹脂埋めして研磨した断面。金属顕微鏡で観察したところ、粒界割れが見られた。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-9	二次被熱(電気炉加熱) ★

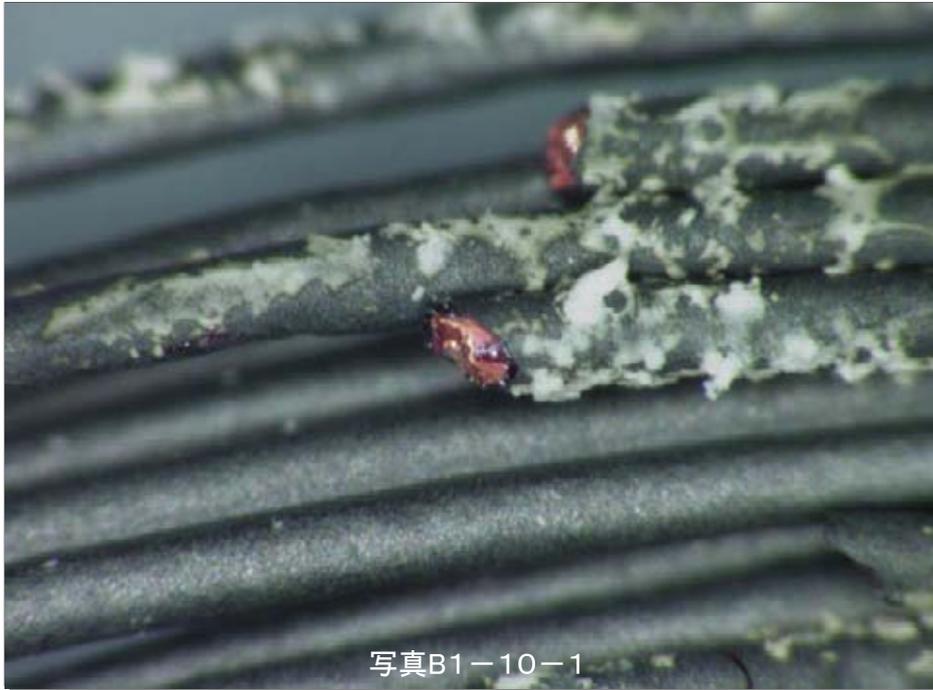
参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 20 分	



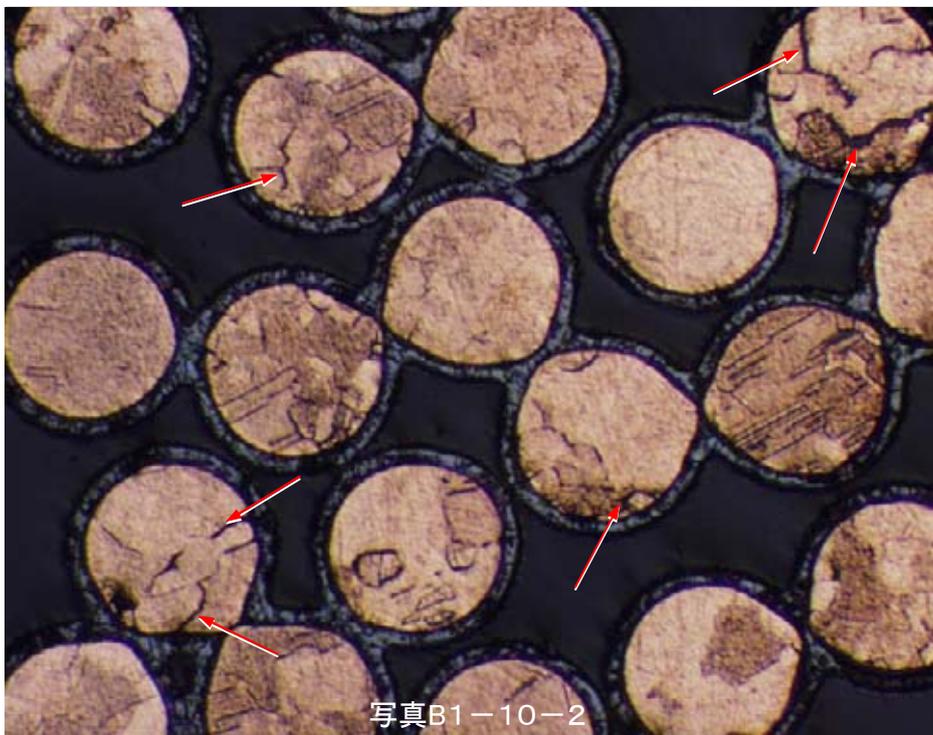
写真B1-9-1は、加熱後のサンプル表面に見られた亀裂。  
 写真B1-9-2は、サンプルを樹脂埋めして研磨した断面。金属顕微鏡で観察したところ、粒界割れが見られた。  
 なお、本サンプルの加熱条件は800°C 20分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないといほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B1	折損、亀裂、粒界割れ	B1-10	二次被熱(電気炉加熱) ★★★

参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 10 分	



写真B1-10-1

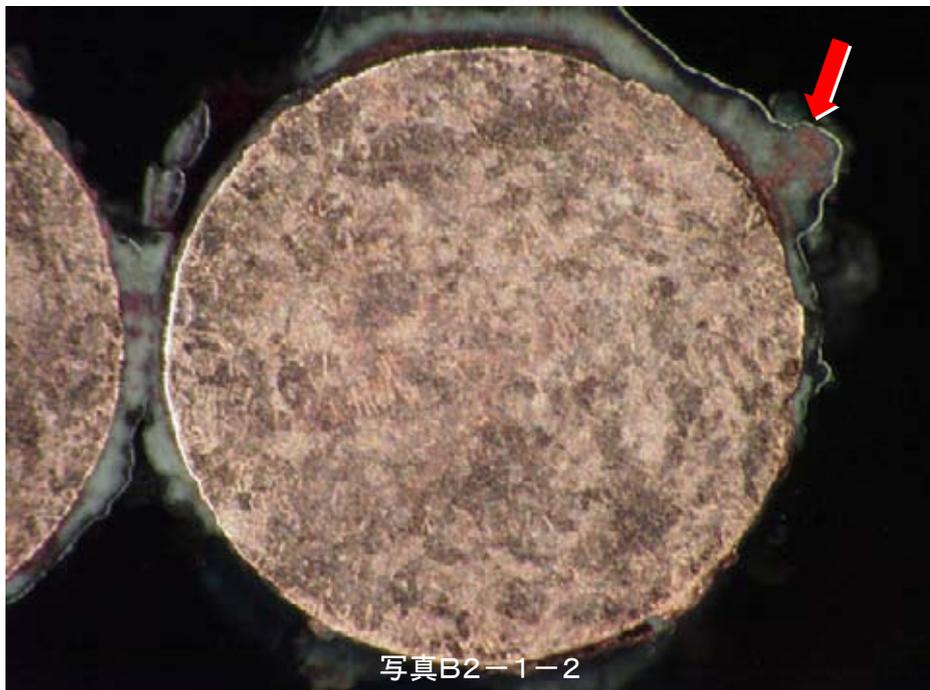
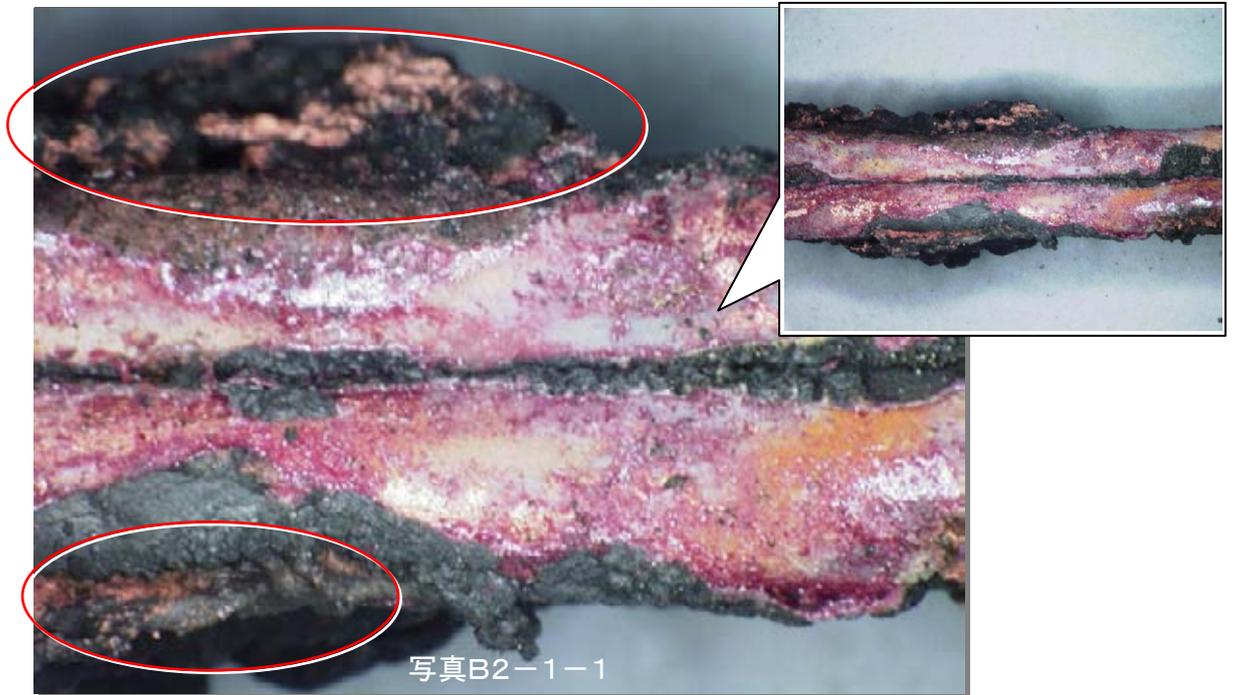


写真B1-10-2

写真B1-10-1は、加熱後のサンプルに生じた折損。電気炉から取り出す際に容易に折損した。  
 写真B1-10-2は、サンプルを樹脂埋めして研磨した断面。金属顕微鏡で観察したところ粒界割れが見られた。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B2	線間溶出	B2-1	二次被熱(電気炉加熱) ★

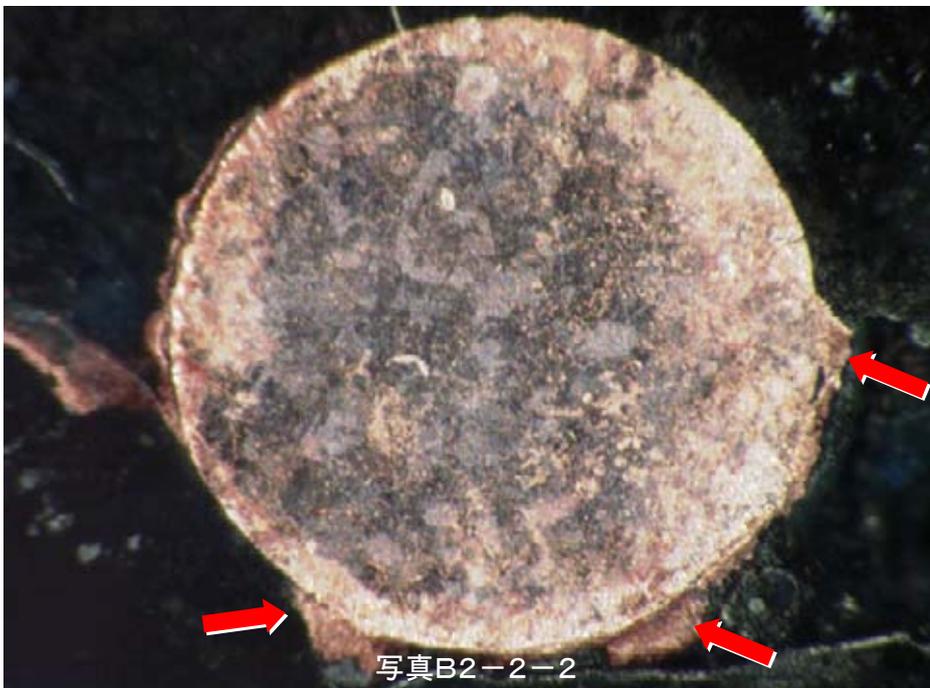
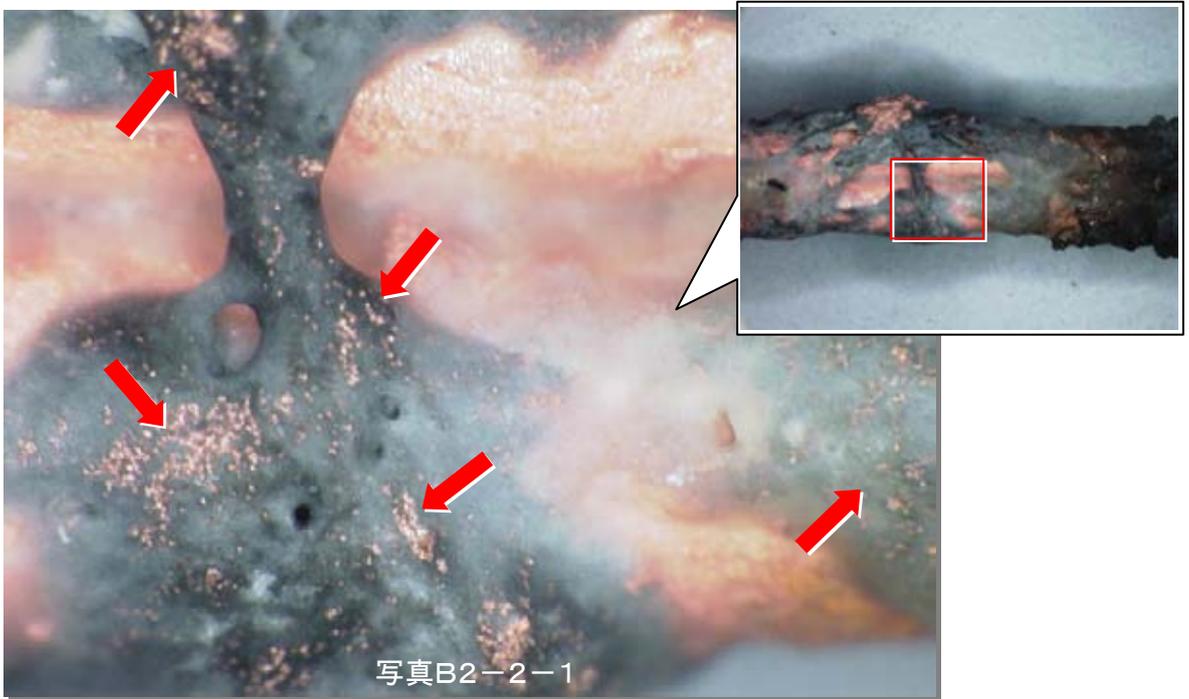
参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 20 分	



写真B2-1-1は加熱後のサンプル、写真B2-1-2はサンプルを樹脂埋めして断面を研磨しマイクロスコープで撮影したもので、円で示した部分又は矢印で示した部分に銅の溶出した様子が見られる。なお、本サンプルの加熱条件は800°C 20分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B2	線間溶出	B2-2	二次被熱(電気炉加熱) ★

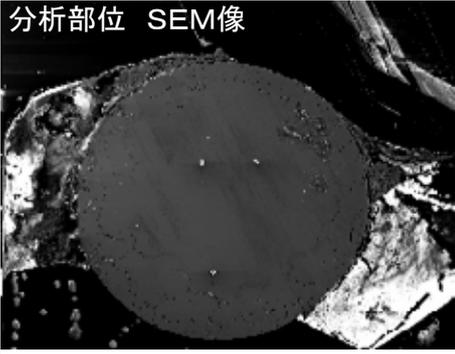
参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 60 分	



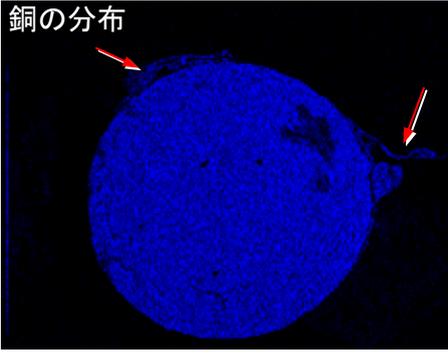
写真B2-2-1は加熱後のサンプル外観。吹き出し写真の赤い枠で囲んだ部分の拡大写真。  
 写真B2-2-2はサンプルを樹脂埋めして断面を研磨しマイクロスコープで撮影したもので、矢印で示した部分に銅と思われる金属光沢の溶出が見られる。  
 なお、本サンプルの加熱条件は800°C 60分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

### 主な検出元素のマッピング分析結果

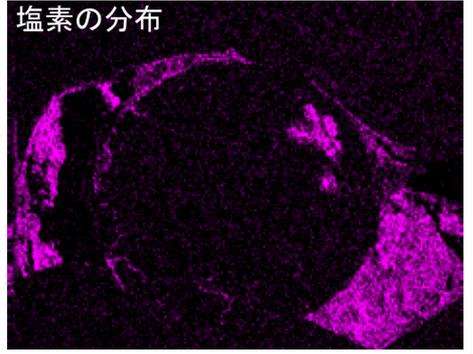
分析部位 SEM像



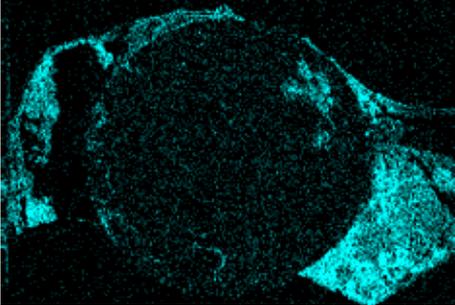
銅の分布



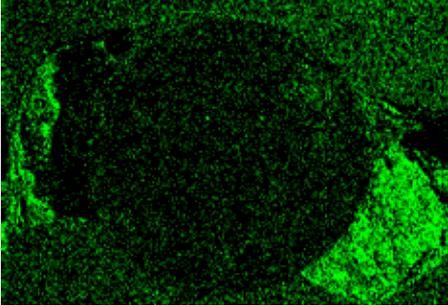
塩素の分布



カルシウム



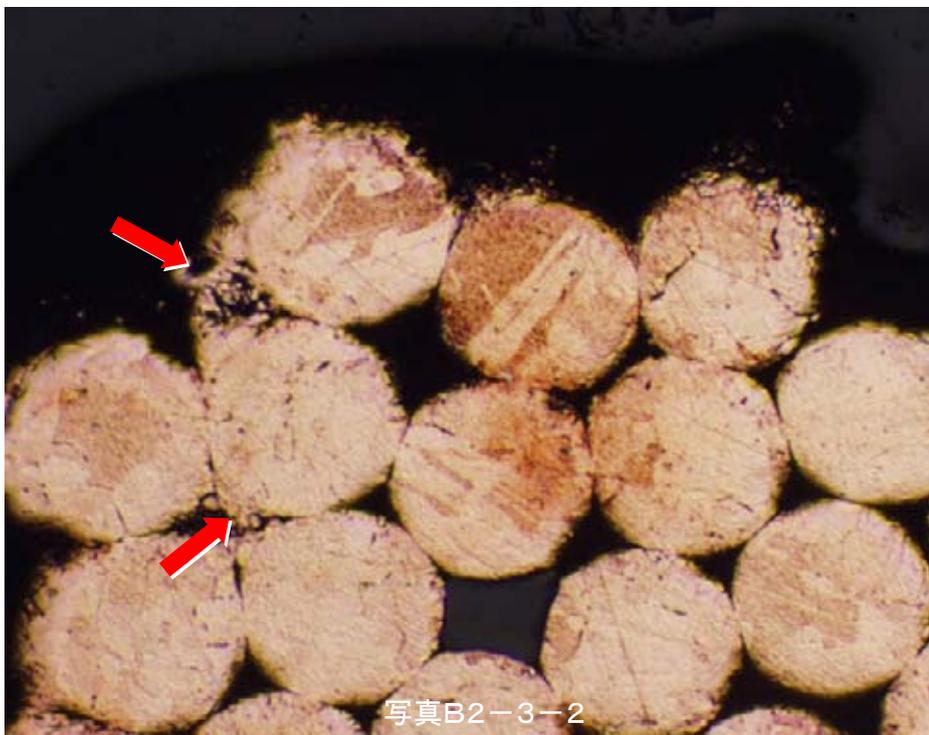
酸素の分布



写真B2-2-2の断面において、主な検出元素のマッピング分析を行ったところ、心線の外側に銅が溶出している様子が確認された。

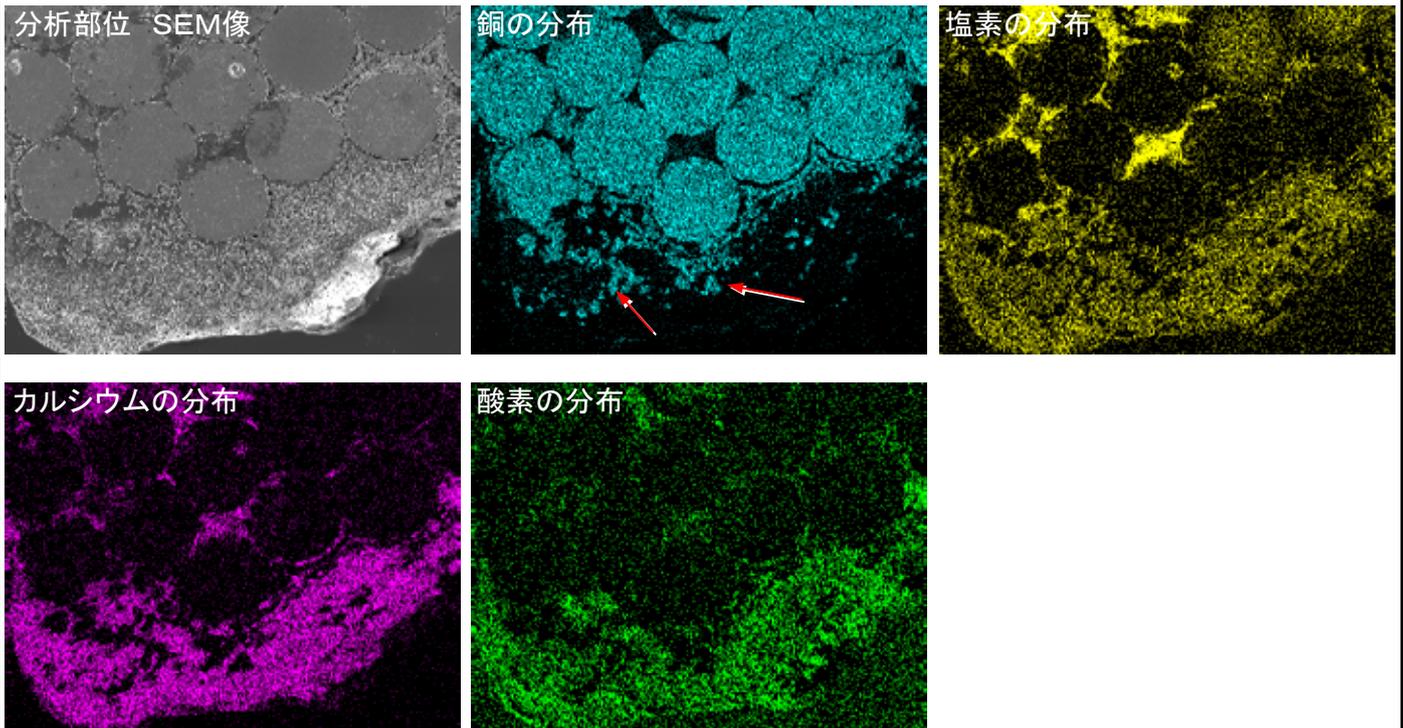
記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B2	線間溶出	B2-3	二次被熱(電気炉加熱) ★★★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 10 分	



写真B2-3-1の外観観察では表面の黒色層により銅が溶出している様子は観察できないが、サンプルを樹脂埋めして断面を研磨した金属顕微鏡像では、写真B2-3-2の矢印で示した部分のように素線間に銅が溶出しているのが認められた。

### 主な検出元素のマッピング分析結果



写真B2-3-2の断面において、主な検出元素のマッピング分析を行ったところ、心線の外側に銅が溶出している様子が確認された。

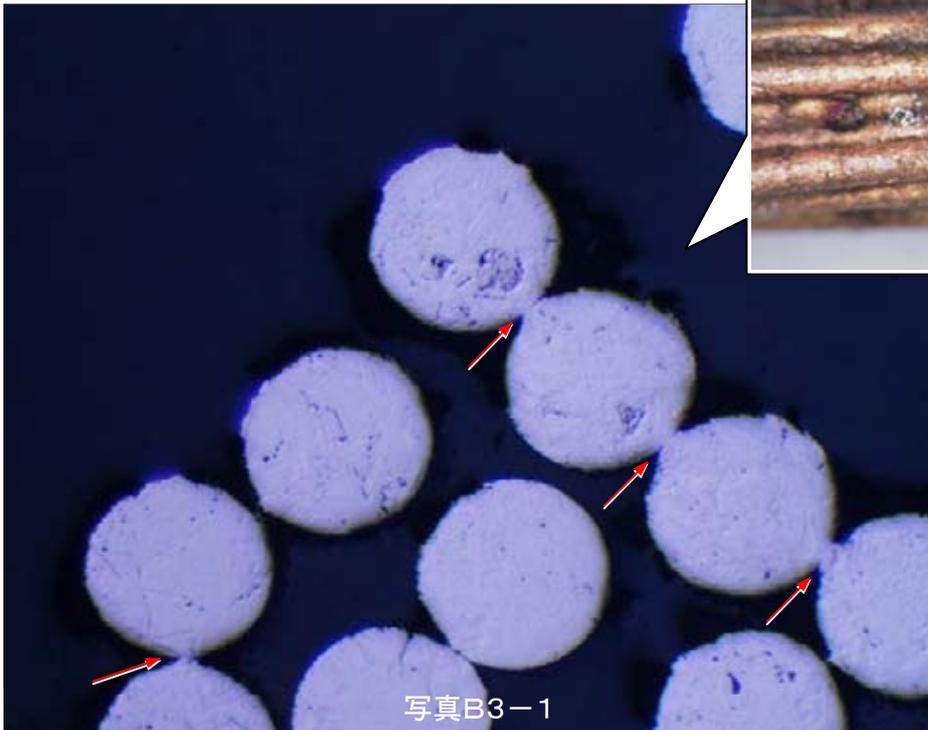
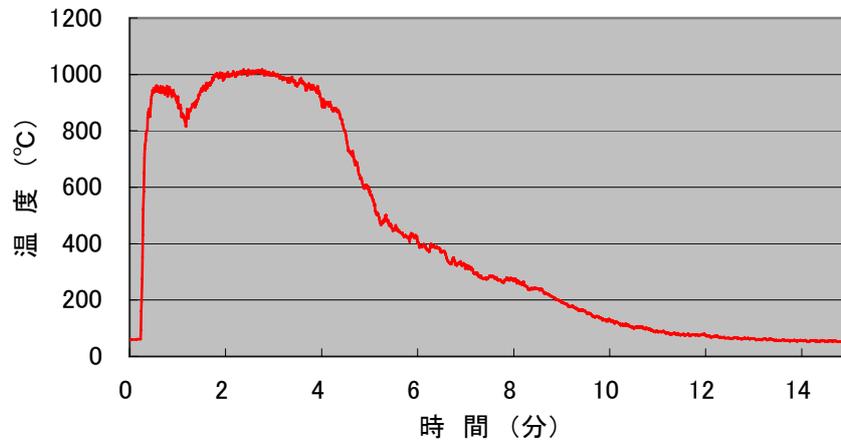
記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-1	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

試料: No. 2 (VFF 0.75mm<sup>2</sup>)

備考:

<炉内の温度推移>

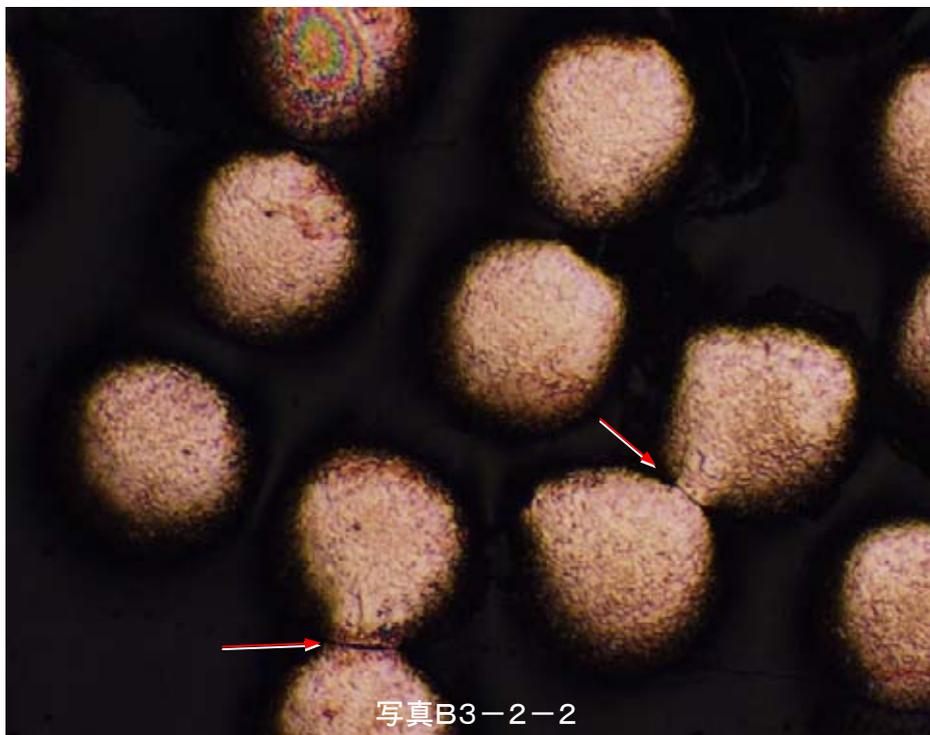
参考  
データ



写真B3-1は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像で、吹き出し写真は加熱後サンプルの外観。  
写真中の矢印で示した部分で素線同士が溶着しているのが認められる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-2	二次被熱(バーナ加熱) ★★★

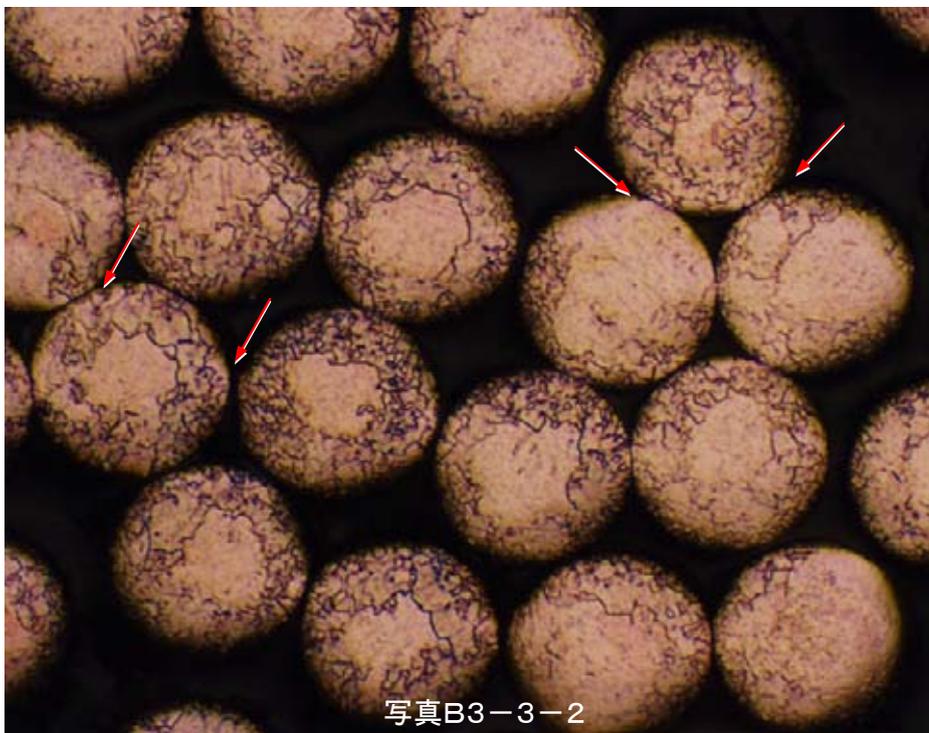
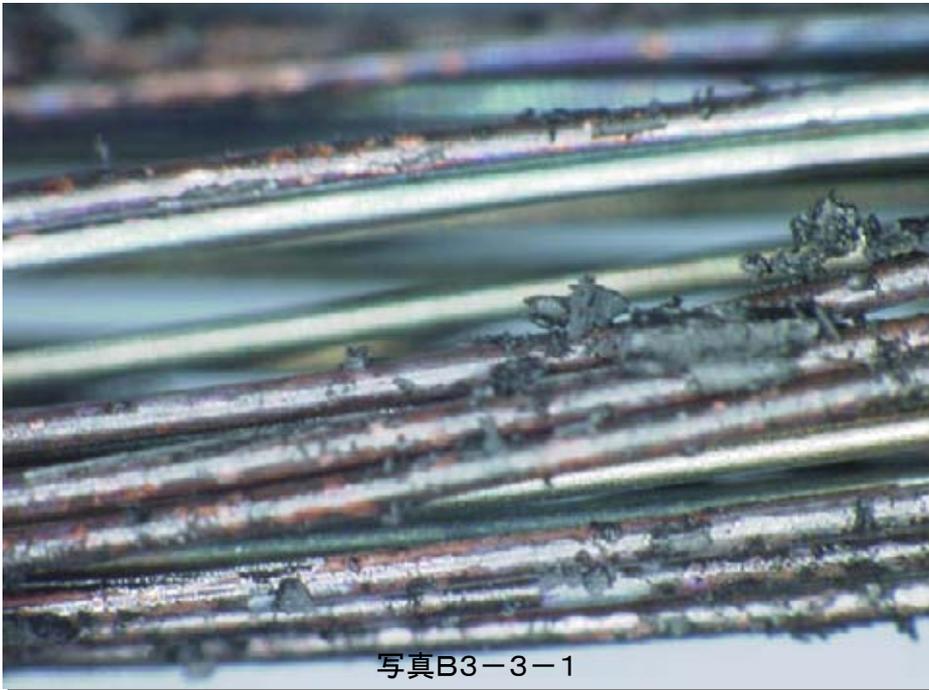
参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 400 °C 加熱時間: 10 分	



写真B3-2-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-2-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 外観観察では著しい溶着の様子は確認できなかったが、断面ではところどころ素線同士の溶着が認められた。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-3	二次被熱(バーナ加熱) ★★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 20 分	



写真B3-3-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-3-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 外観観察では著しい溶着の様子は確認できなかったが、断面ではところどころ素線同士の溶着が認められた。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-4	二次被熱(電気炉加熱) ★★★

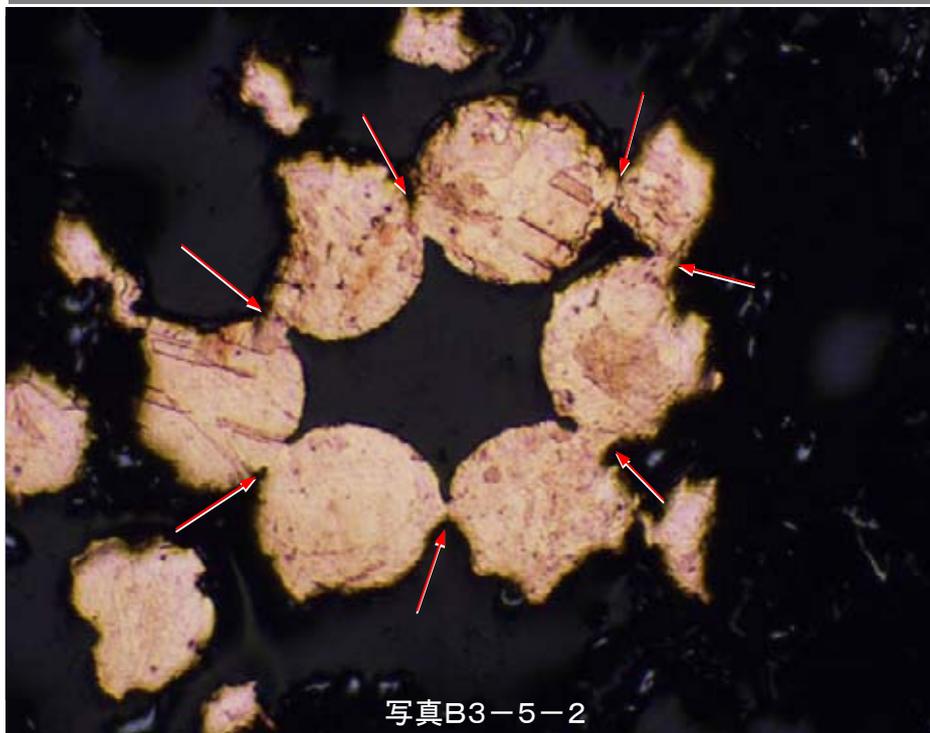
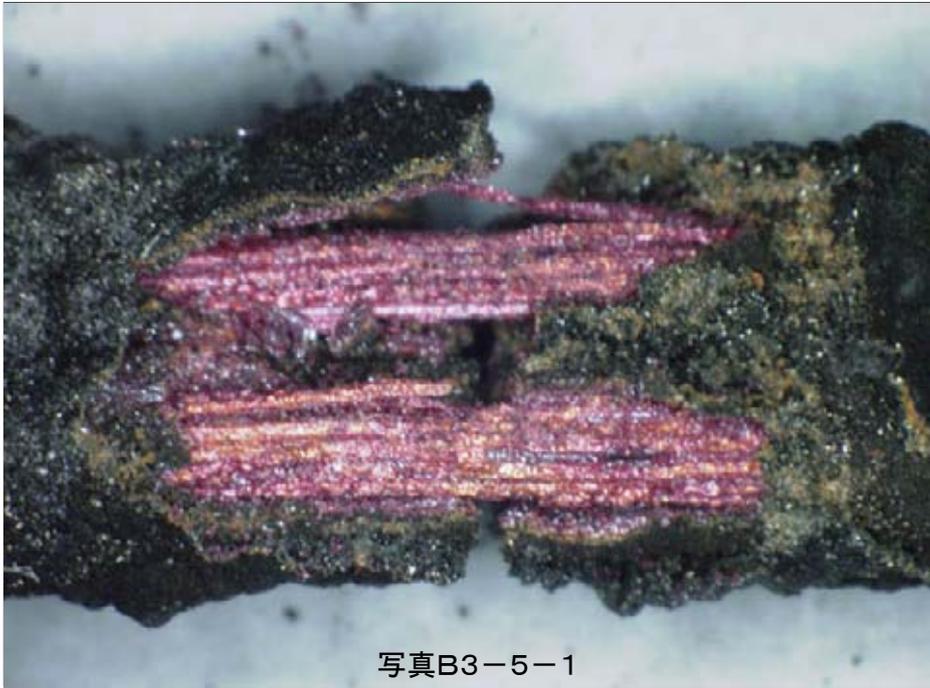
参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 400 °C 加熱時間: 10 分	



写真B3-4-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-4-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。銅素地同士は溶着していないが、溶着しようとして素線の断面が変形もしくは溶着していた部分を試料採取や断面サンプル作製中に引き剥がしてしまったようにも見える箇所が見られた。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-5	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 30 分	



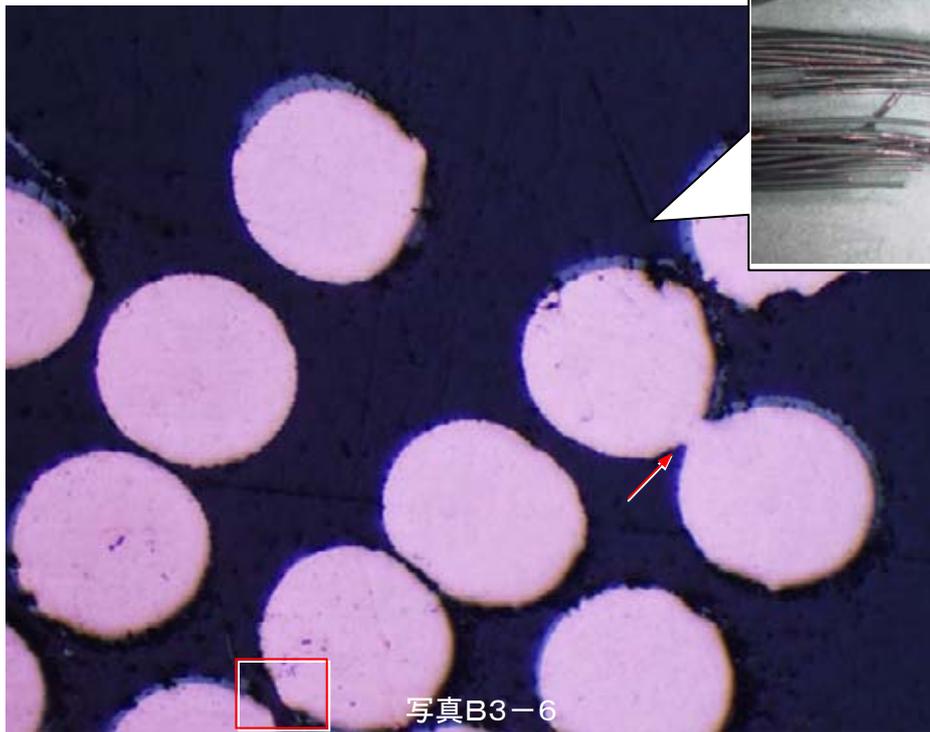
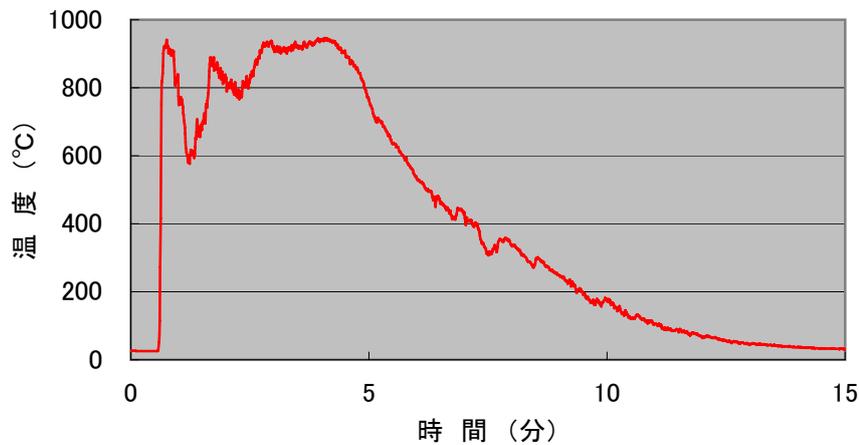
写真B3-5-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-5-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 被熱による著しい素線の損傷及び素線同士の明らかな溶着(矢印で示した部分)が認められる。  
 なお、本サンプルの加熱条件は800°C 30分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-6	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

試料: No. 3 (NNFF 0.75mm<sup>2</sup>) 備考:

<炉内の温度推移>

参考  
データ

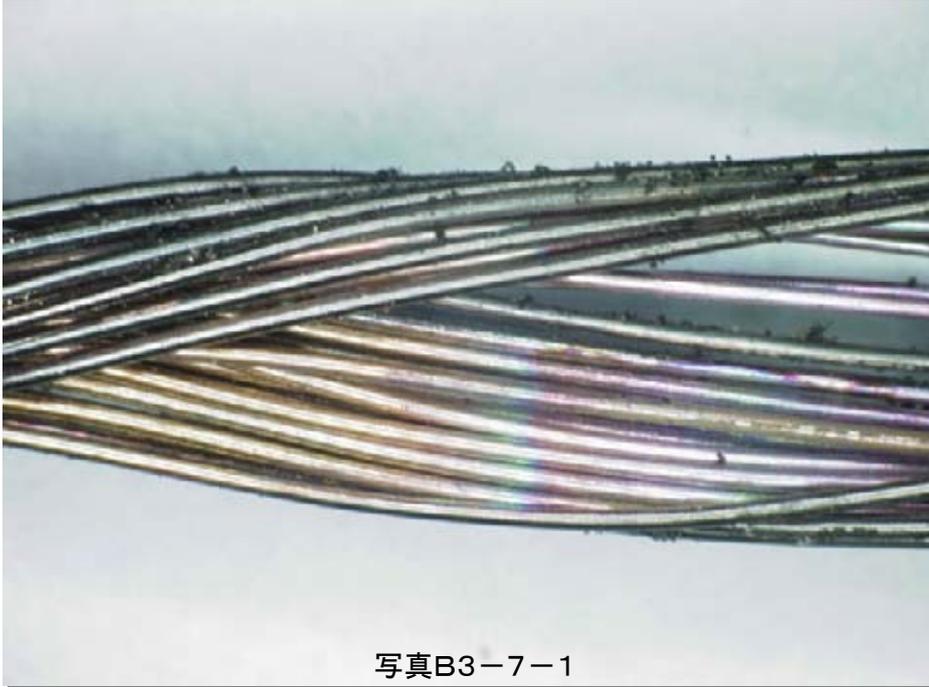


写真B3-6

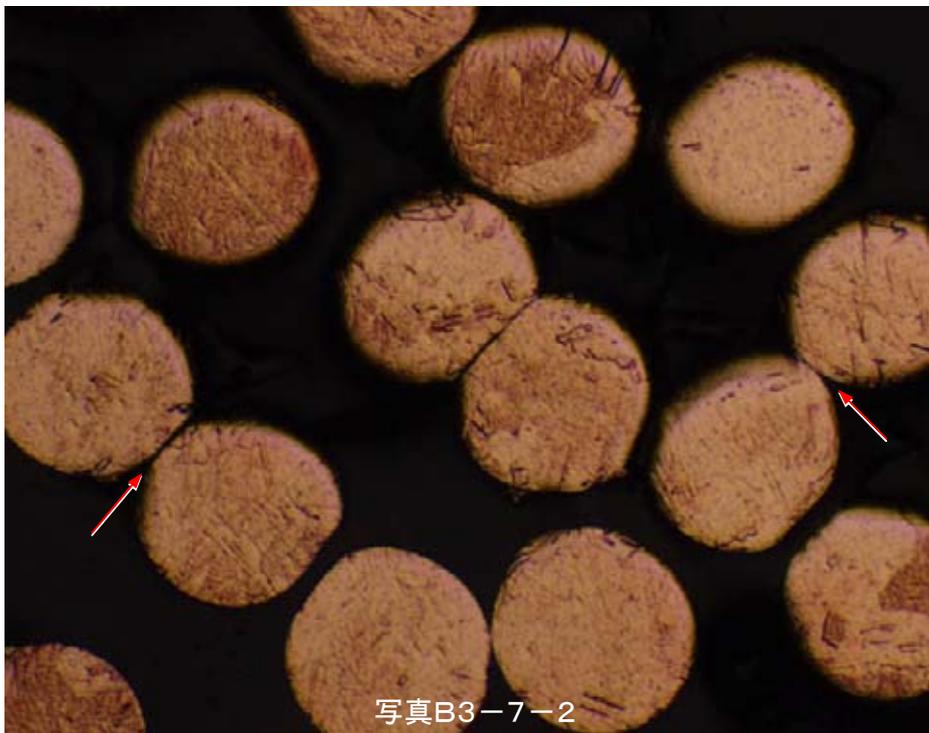
写真B3-6は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像で、吹き出し写真は加熱後サンプルの外観。  
写真中の矢印で示した部分で素線同士が溶着している。  
四角で囲んだ部分では、銅素地同士は溶着していないが、溶着しようとして素線の断面が変形、もしくは溶着していた部分を試料採取や断面サンプル作製中に引き剥がしてしまったようにも見える。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-7	二次被熱(バーナ加熱) ★★★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 10 分	



写真B3-7-1

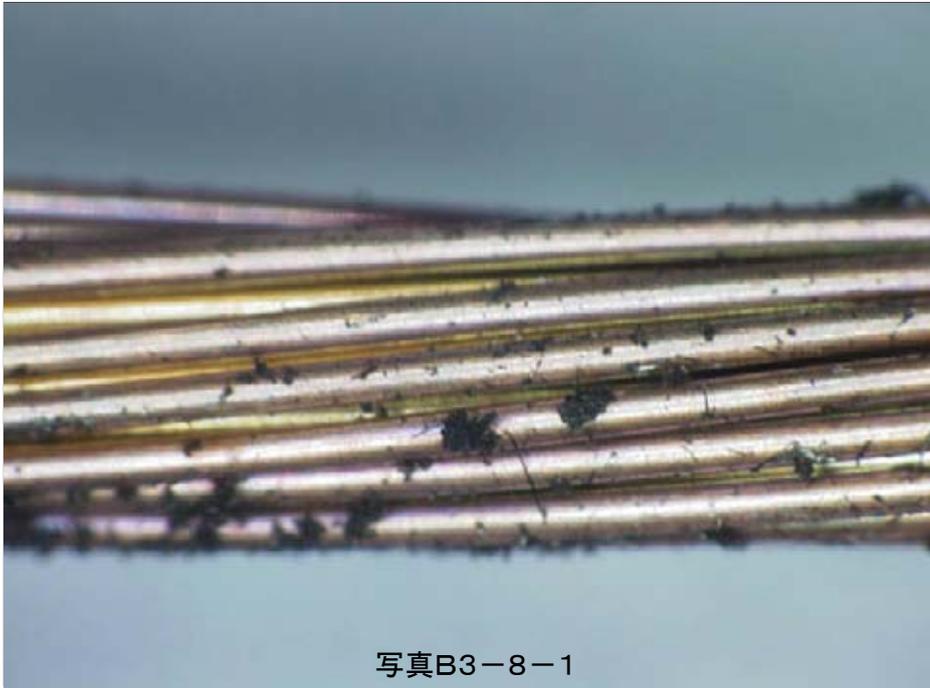


写真B3-7-2

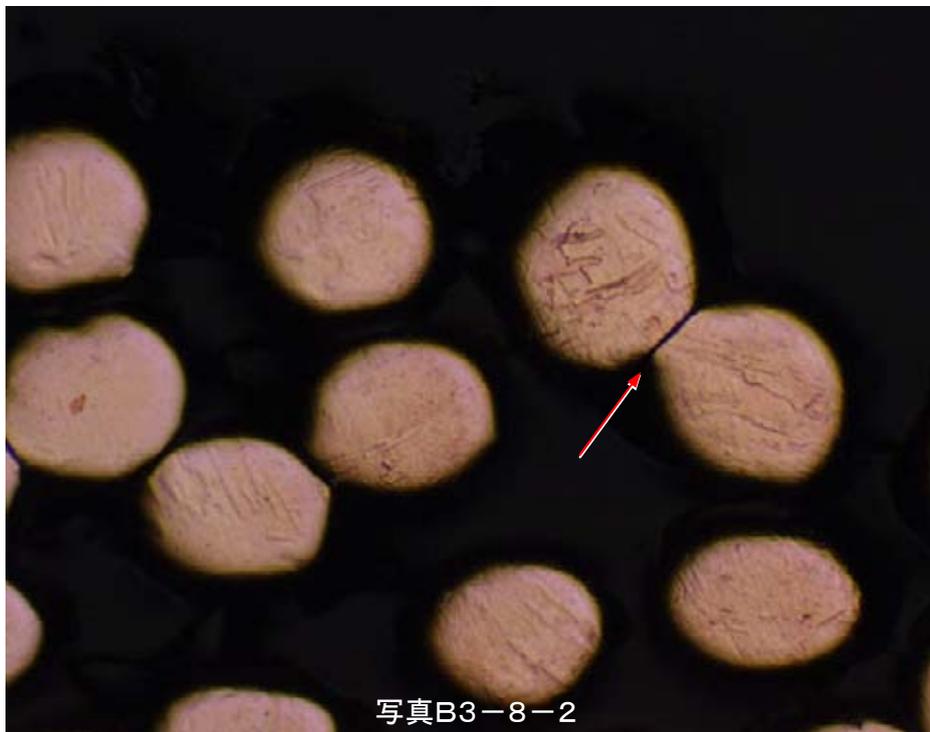
写真B3-7-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-7-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 銅素地同士は溶着していないが、溶着しようとして素線の断面が変形もしくは溶着していた部分を試料採取や断面サンプル作製中に引き剥がしてしまったようにも見える箇所がある。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-8	二次被熱(電気炉加熱) ★★★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 400 °C 加熱時間: 20 分	



写真B3-8-1



写真B3-8-2

写真B3-8-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-8-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 銅素地同士は溶着していないが、溶着しようとして素線の断面が変形もしくは溶着していた部分を試料採取や断面サンプル作製中に引き剥がしてしまったようにも見える箇所がある。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-9	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 20 分	



写真B3-9-1



写真B3-9-2

写真B3-9-1は、加熱後サンプルの外観。

写真B3-9-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。

外周部を酸化層が覆っており、この部分では素線の分離ができない。また、断面は素線同士の溶着が顕著で、外周部ほどその程度が大きい。

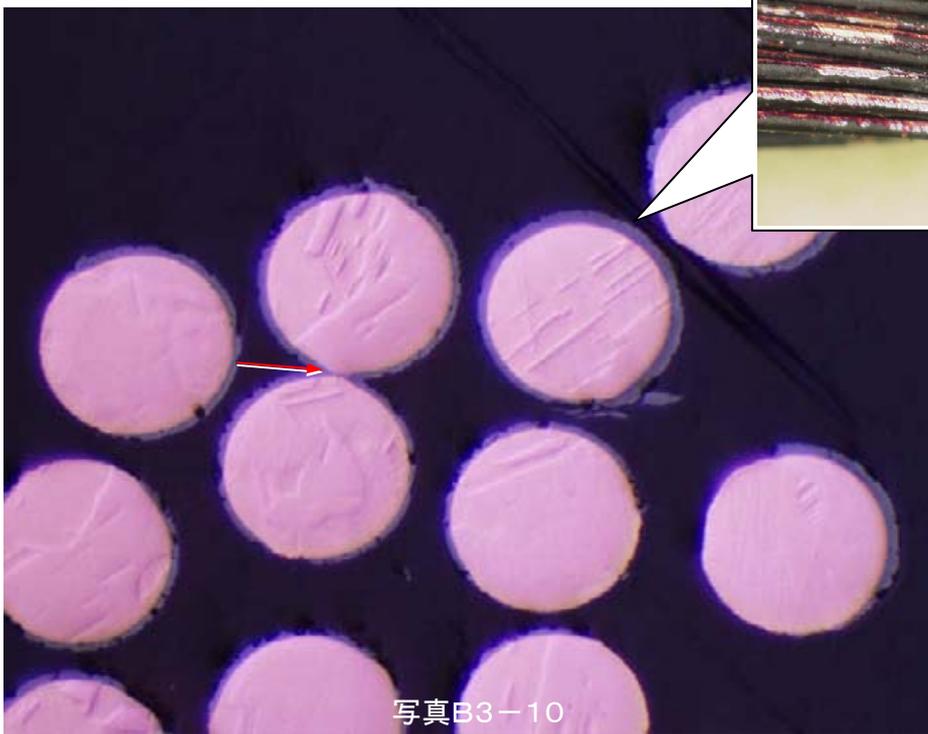
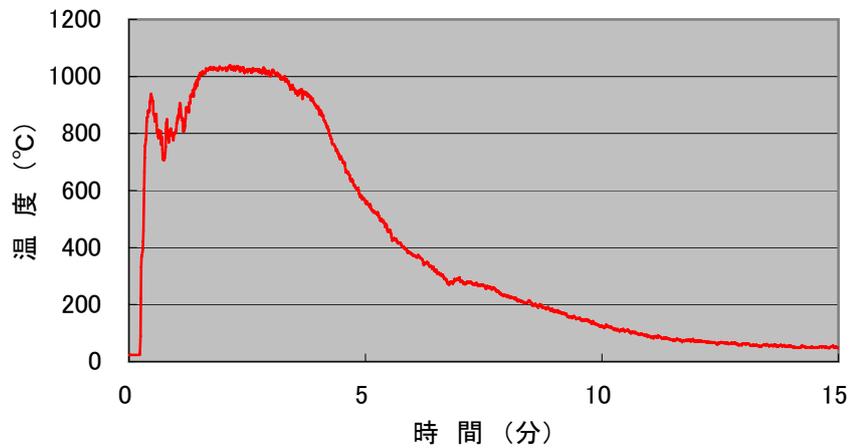
なお、本サンプルの加熱条件は1000°C 20分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-10	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm<sup>2</sup>) 備考:

<炉内の温度推移>

参考  
データ



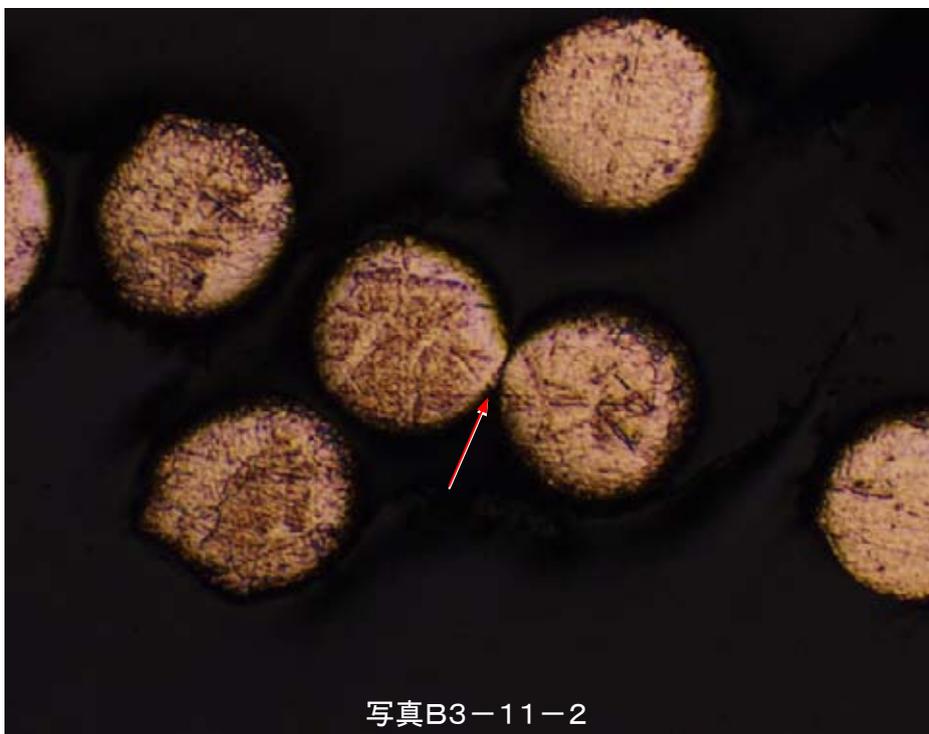
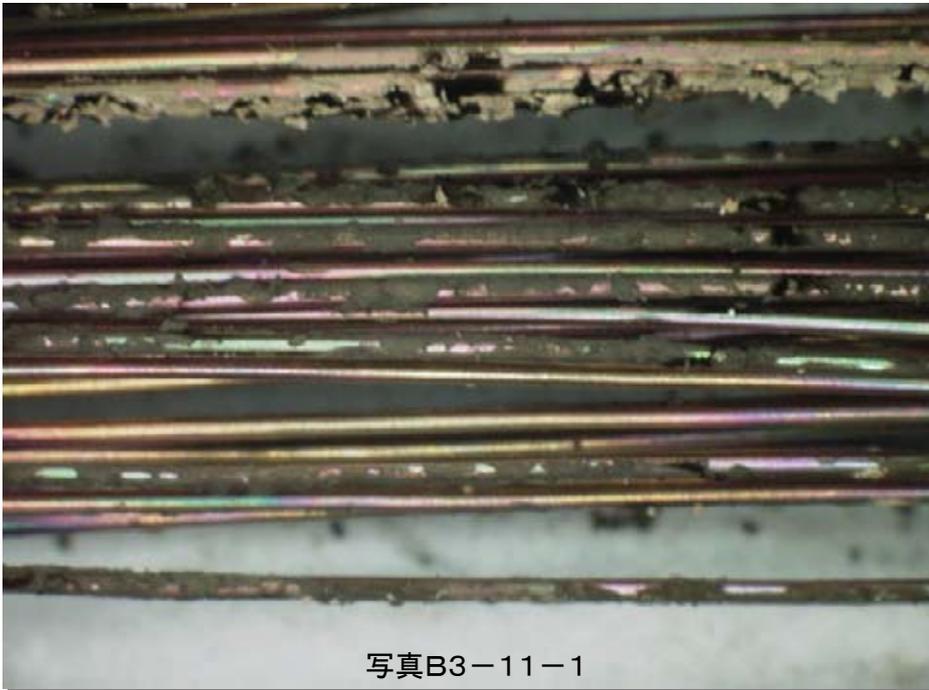
写真B3-10

写真B3-10は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像で、吹き出し写真は加熱後サンプルの外観。

表面の酸化層同士で溶着しているようにも見えるが、写真B3-6中の四角で囲んだ部分と同様に銅素地同士が溶着しようとして変形している。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-11	二次被熱(バーナ加熱) ★★

参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 20 分	



写真B3-11-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-11-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 写真中の矢印で示した部分で素線同士が溶着しているのが認められる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-12	二次被熱(バーナ加熱) ★

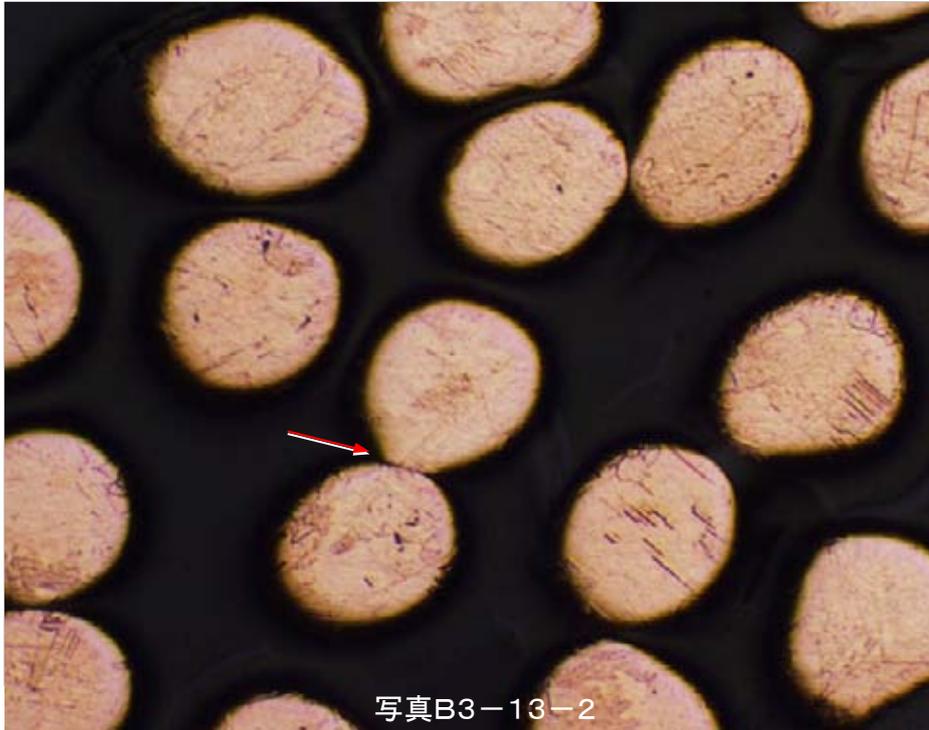
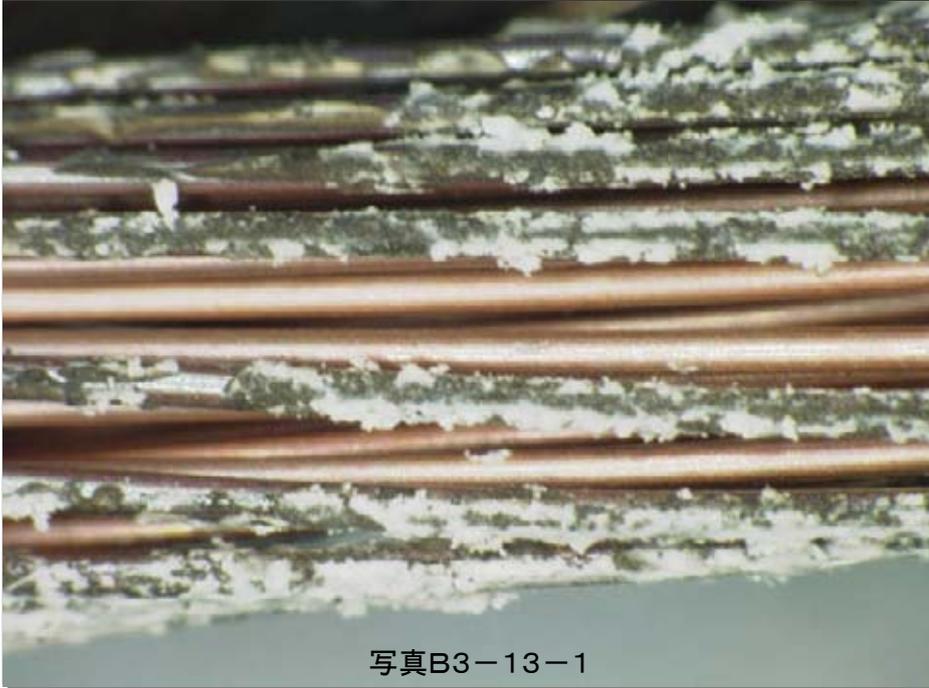
参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 60 分	



写真B3-12-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-12-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 加熱時間が延びたためか、溶着している箇所が多い。  
 なお、本サンプルの加熱条件は600°C 60分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないといほとんど観察されないと思われる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-13	二次被熱(電気炉加熱) ★★★

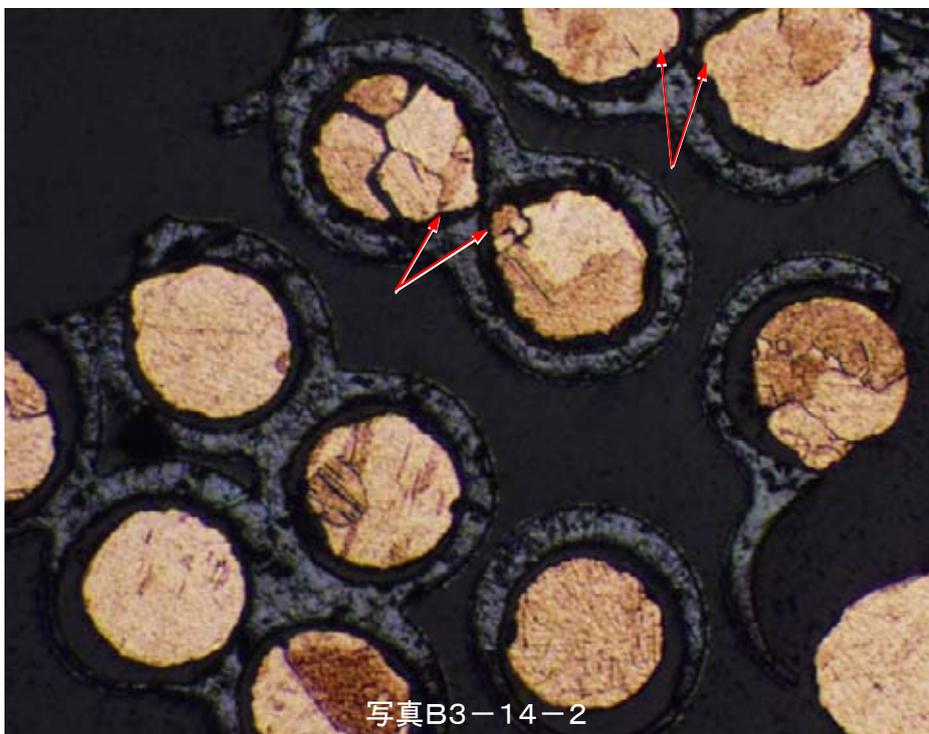
参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 10 分	



写真B3-13-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-13-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 外観観察時には、素線同士は容易に分離できたが、断面には素線同士が溶着しようとしている様子が見られた。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-14	二次被熱(電気炉加熱) ★

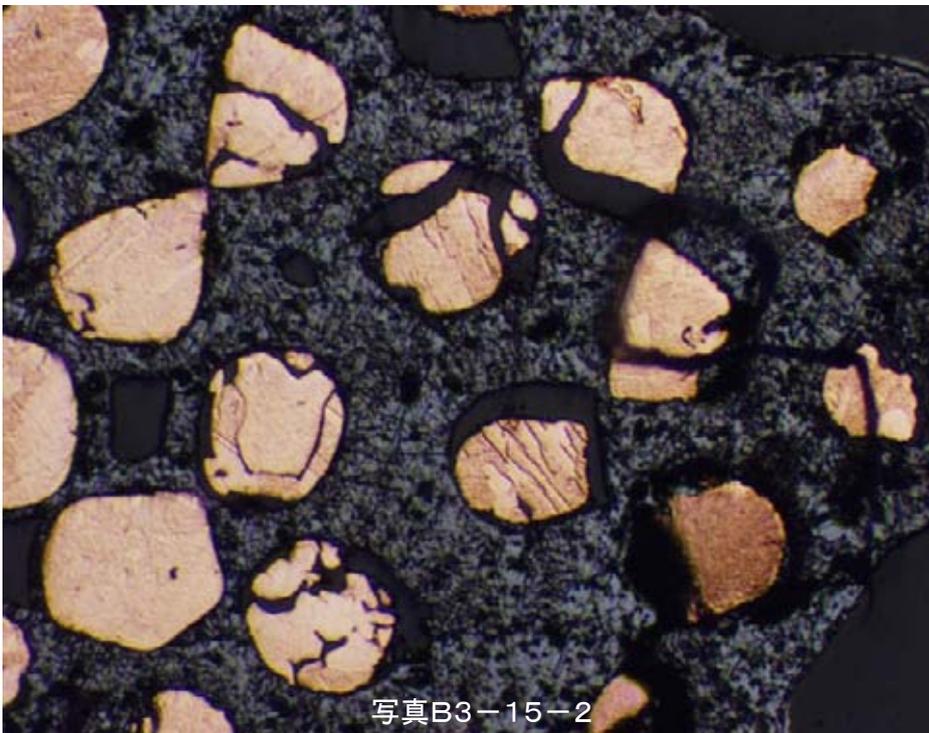
参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 30 分	



写真B3-14-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-14-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 表面では酸化層同士が溶着しているが、素線同士が溶着していた痕跡と思われる箇所も観察された。  
 なお、本サンプルの加熱条件は800°C 30分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
B3	線間溶着	B3-15	二次被熱(電気炉加熱) ★

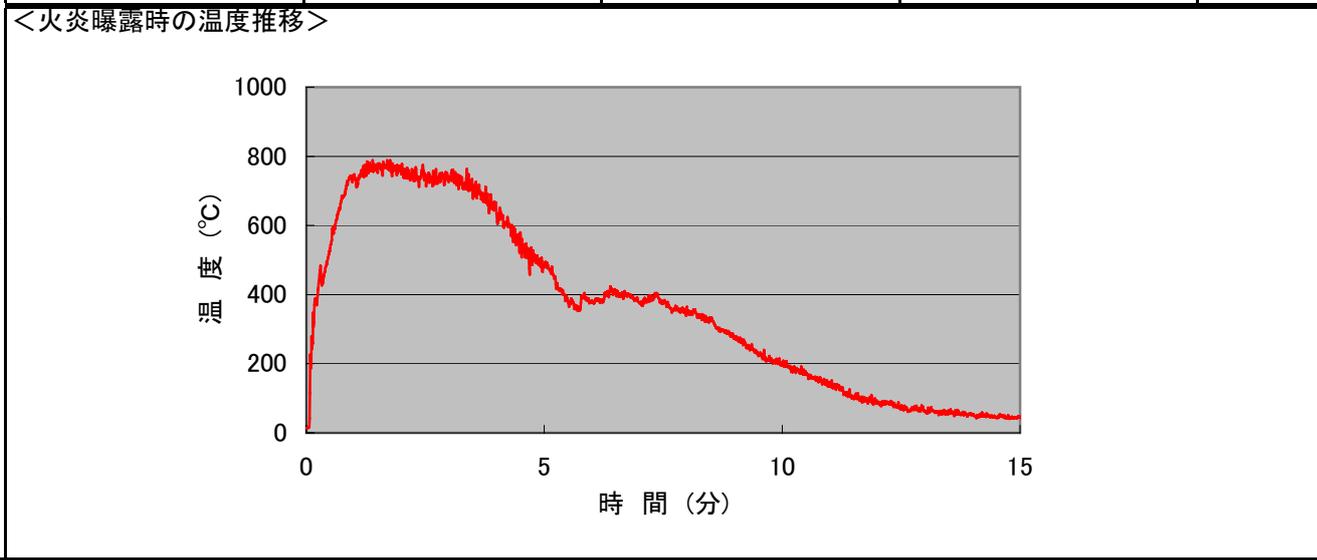
参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 60 分	



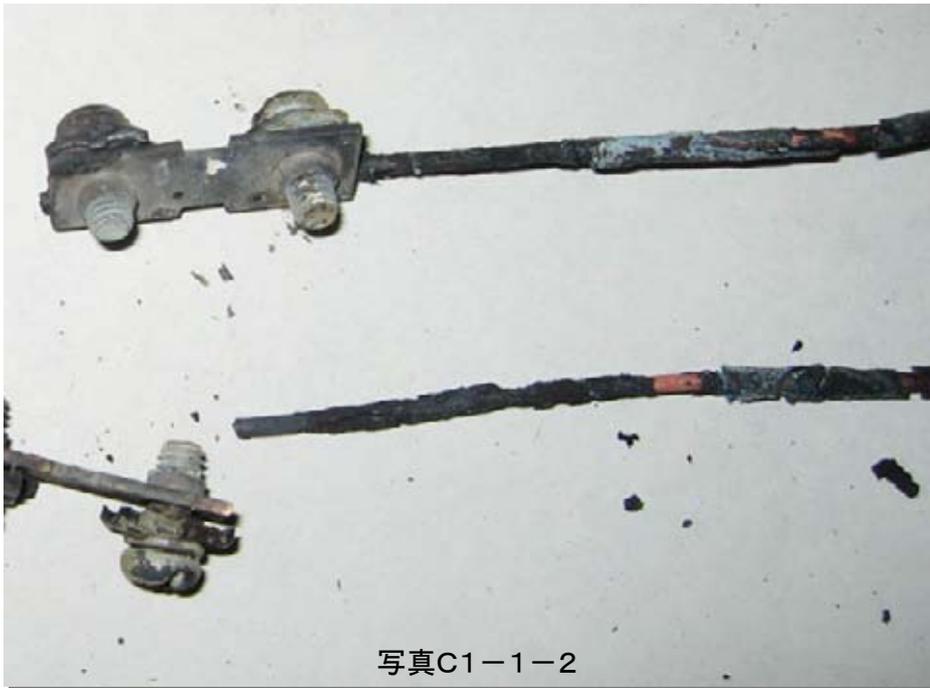
写真B3-15-1は、加熱後サンプルの外観。  
 写真B3-15-2は、加熱後サンプルを樹脂埋め、研磨して観察した断面の金属顕微鏡像。  
 加熱時間が長く素線間でも酸化層が成長し、溶着の痕跡を確認することはできない。  
 なお、本サンプルの加熱条件は800°C 60分と過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-1	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考: 電流負荷9.5A 端子台座金端部で溶断	
発火までの経過(概略)		
1 cyc ~ 433 cyc 45 °C ~ 67 °C	434 cyc ~ 505 cyc 372 °C ~ 453 °C	506 cyc 溶断



写真C1-1-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後のサンプル。  
断線部近傍に緑青は見られず、発熱により溶融するなどした被覆の表面に緑青が見られる。



写真C1-1-2

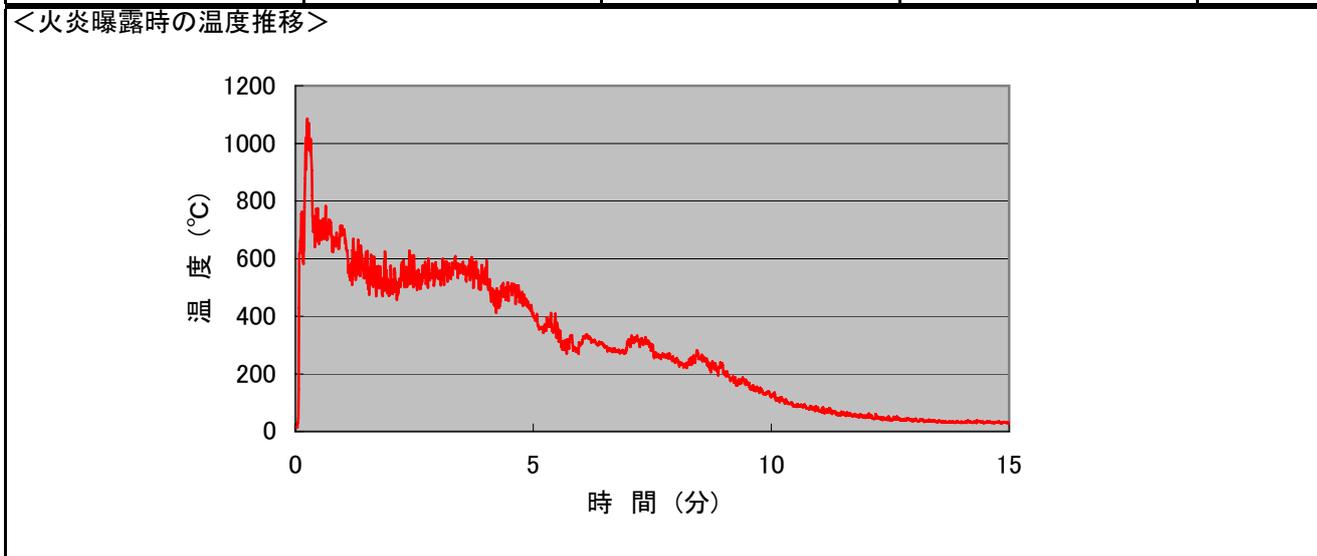


写真C1-1-3

写真C1-1-2は、火炎曝露後1週間の状態。やはり断線部近傍には緑青が見られず、発火直後の状態で被覆が残存していた部分に緑青が生じている。  
写真C1-1-3は、火炎曝露1か月の状態。発火直後の状態で被覆が残存していた部分に著しく緑青が生じている。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-2	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考: 電流負荷9.5A 端子台座金端部で溶断		
発火までの経過(概略)			
1 cyc ~ 336 cyc 38 °C ~ 64 °C	337 cyc ~ 446 cyc 105 °C ~ 122 °C	447 cyc ~ 521 cyc 365 °C ~ 437 °C	521 cyc 溶断



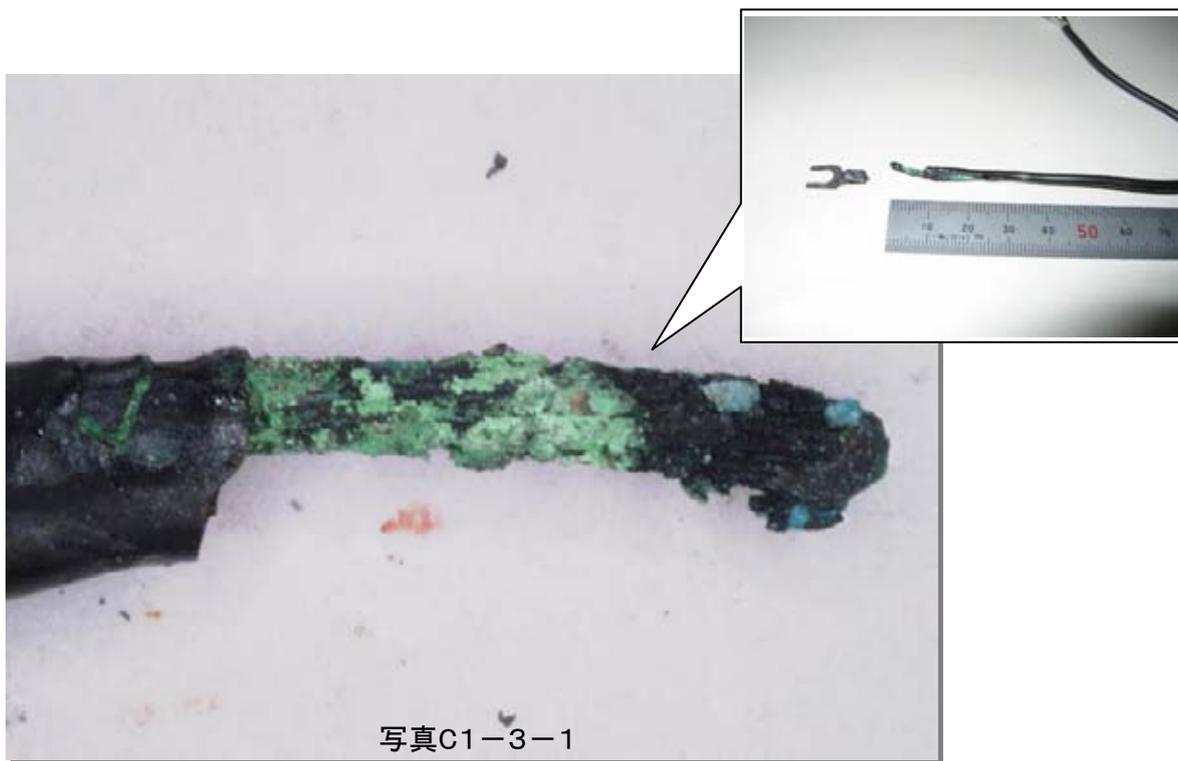
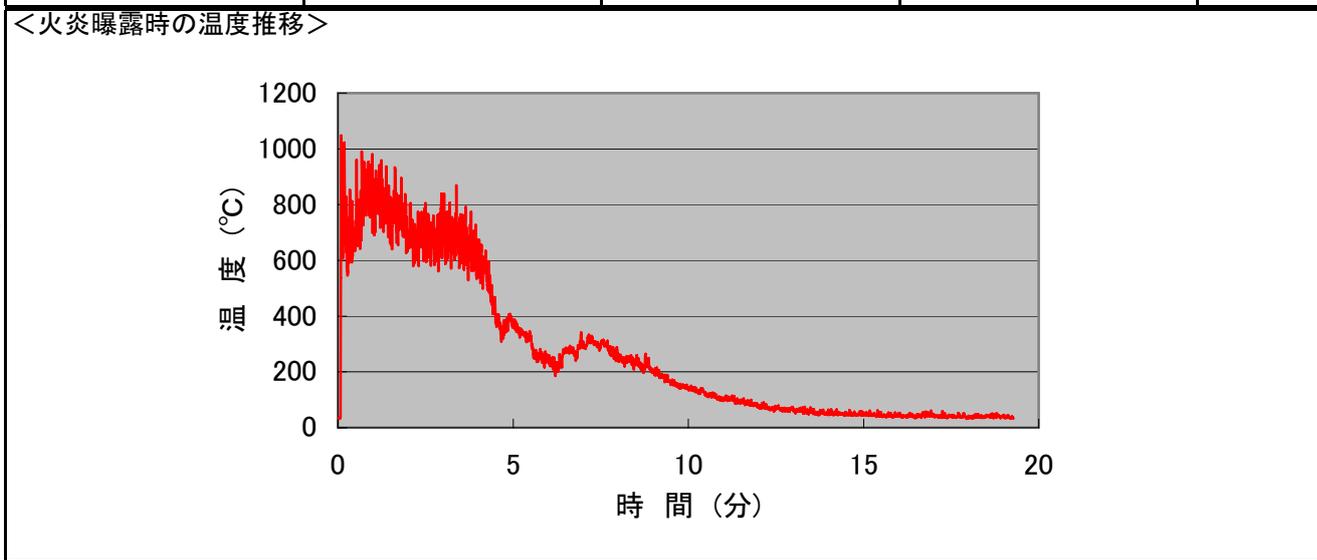
写真C1-2-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後のサンプル。  
断線部近傍に緑青は見られず、発熱により熔融するなどした被覆の表面に緑青が見られる。



写真C1-2-2は、火炎曝露後1週間の状態。緑青はほぼ見られない。  
写真C1-2-3は、火炎曝露1か月の状態。発火直後の状態で被覆が残存していた部分に著しく緑青が生じている。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-3	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷7.7~12.4A Y端子かしめ部出口で溶断			
発火までの経過(概略)				
1 cyc ~ 359 cyc 55 °C ~ 123 °C	360 cyc ~ 1461 cyc 85 °C ~ 141 °C	1462 cyc ~ 1656 cyc 120 °C ~ 164 °C	1657 cyc ~ 1903 cyc 114 °C ~ 358 °C	1903 cyc 溶断



写真C1-3-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後のサンプル。断線部近傍に緑青が発生している。

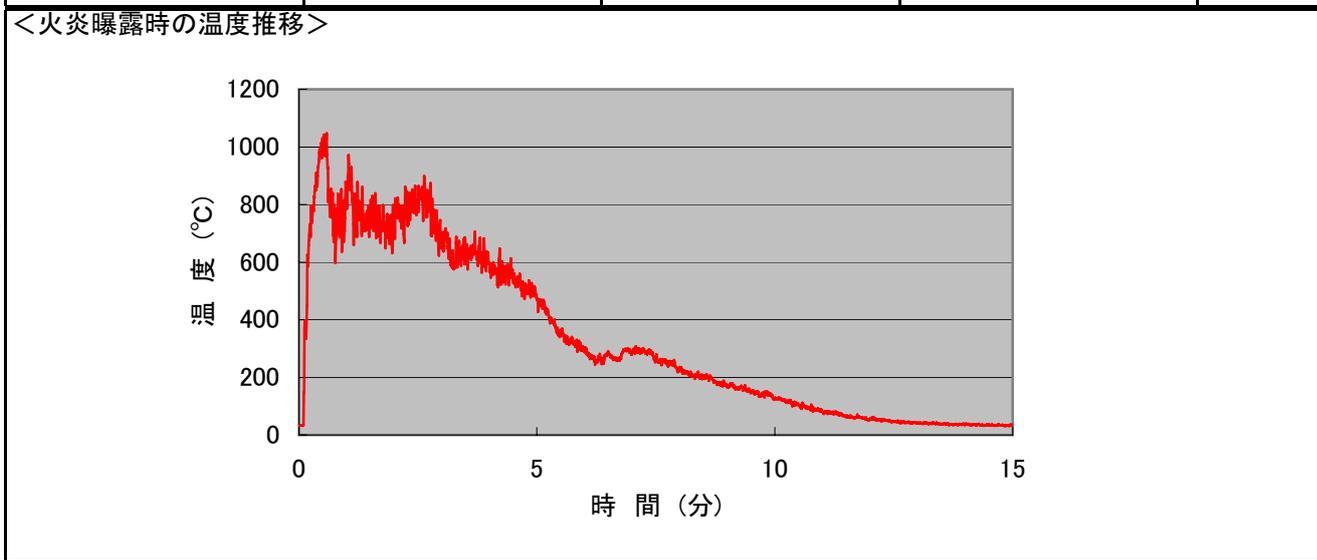


写真C1-3-2は、火炎曝露後1週間の状態。断線部の近傍にところどころ緑青が見られる。  
写真C1-3-3は、火炎曝露1か月の状態。一週間後の状態と大きな差は見られない。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-4	一次被熱(過電流) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷17.5~24.5A 試料のほぼ中央で溶断		
発火までの経過(概略)			
1 cyc ~ 144 cyc 82 °C ~ 92 °C	145 cyc ~ 1022 cyc 125 °C ~ 130 °C	1023 cyc ~ 1398 cyc 125 °C ~ 165 °C	1399 cyc 溶断

参考  
データ



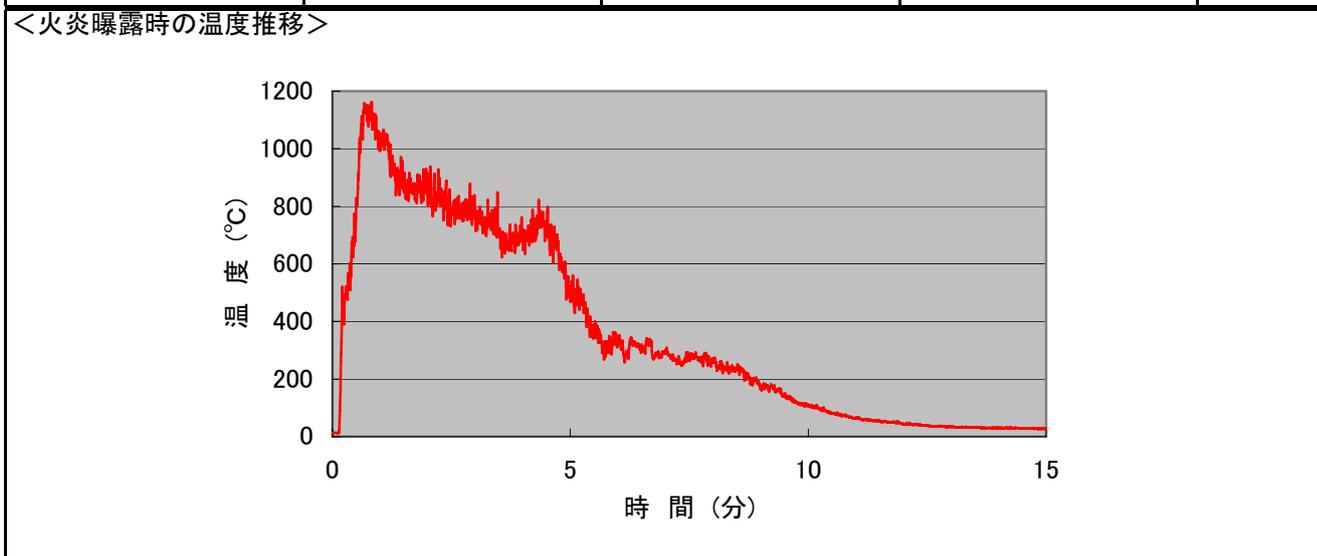
写真C1-4-1は、一次被熱(過電流)条件による発火後のサンプル。  
断線部近傍にも緑青が発生している。



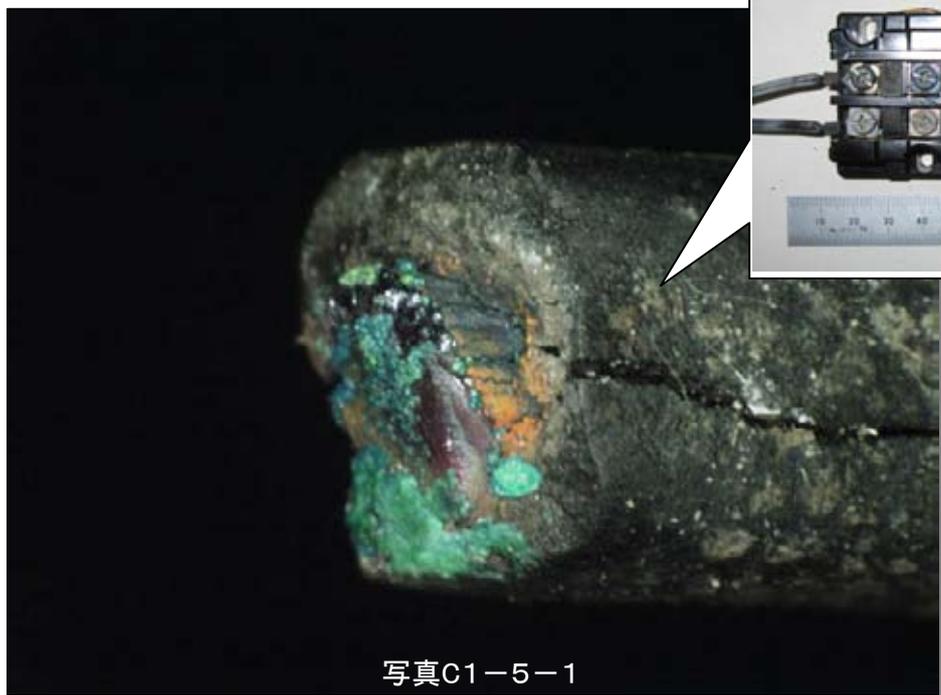
写真C1-4-2は、火炎曝露後1週間の状態。断線部の近傍にとろどころ緑青が見られる。  
写真C1-4-3は、火炎曝露1か月の状態。一週間後の状態と大きな差は見られない。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-5	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷7.7~12A Y端子かしめ部出口で溶断			
発火までの経過(概略)				
1 cyc ~ 240 cyc 35 °C ~ 90 °C	241 cyc ~ 575 cyc 82 °C ~ 177 °C	576 cyc ~ 1008 cyc 82 °C ~ 115 °C	1009 cyc ~ 2002 cyc 127 °C ~ 248 °C	2003 cyc 溶断

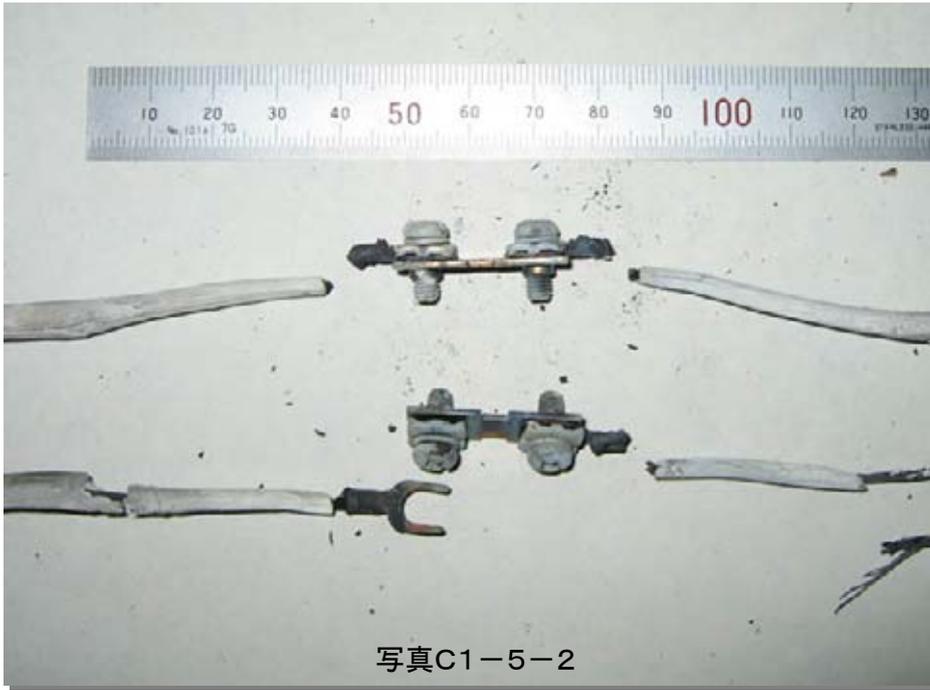


参考  
データ



写真C1-5-1

写真C1-5-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後のサンプル。断線部に僅かながら緑青が発生している。



写真C1-5-2

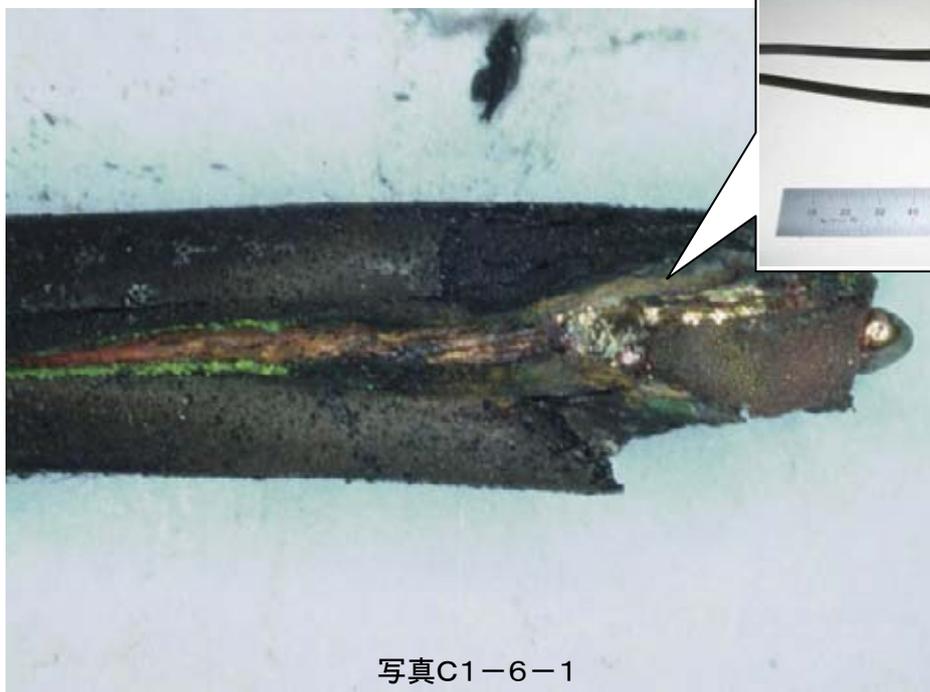
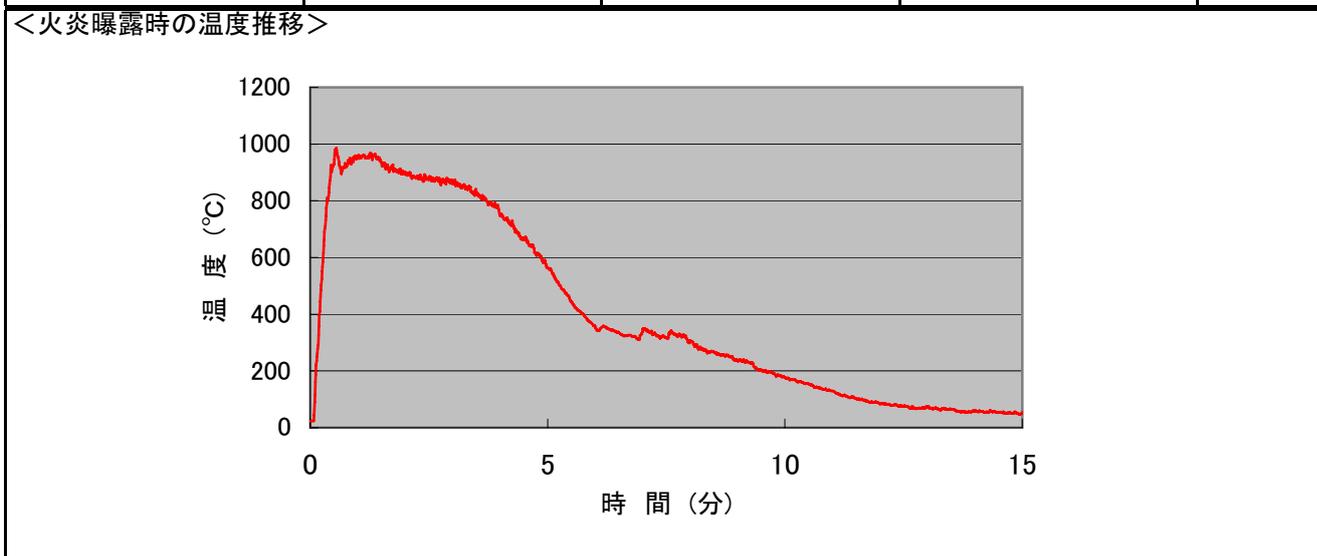


写真C1-5-3

写真C1-5-2は、火炎曝露後1週間の状態。緑青は見られない。  
写真C1-5-3は、火炎曝露1か月の状態。緑青が発生することはなかった。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-6	一次被熱(過電流) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷20~26.5A 試料のほぼ中央で溶断			
発火までの経過(概略)				
1 cyc ~ 144 cyc 100 °C ~ 107 °C	145 cyc ~ 192 cyc 110 °C ~ 130 °C	193 cyc ~ 1416 cyc 140 °C ~ 145 °C	1417 cyc ~ 1955 cyc 150 °C ~ 185 °C	1956 cyc 溶断



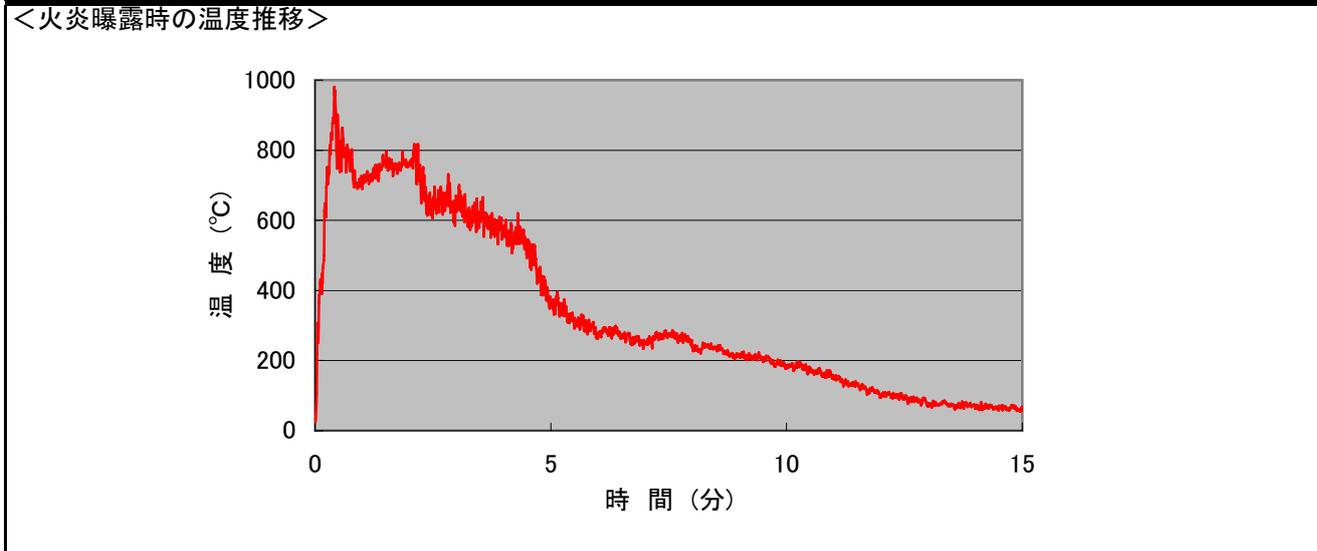
写真C1-6-1は、一次被熱(過電流)条件による発火後のサンプル。断線部近傍の被覆内側から緑青が覗いている。



写真C1-6-2は、火炎曝露後1週間の状態。緑青は見られない。  
写真C1-6-3は、火炎曝露1か月の状態。緑青が発生することはなかった。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-7	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷6~7.5A Y端子がねじと接触する部分で溶断			
発火までの経過(概略)				
1 cyc ~ 1079 cyc 96 °C ~ 196 °C	1080 cyc ~ 1847 cyc 206 °C ~ 240 °C	1848 cyc ~ 3023 cyc 123 °C ~ 198 °C	3024 cyc ~ 3322 cyc 380 °C ~ 500 ↑ °C	3323 cyc 溶断



写真C1-7-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後のサンプル。緑青は見られない。



写真C1-7-2



写真C1-7-3

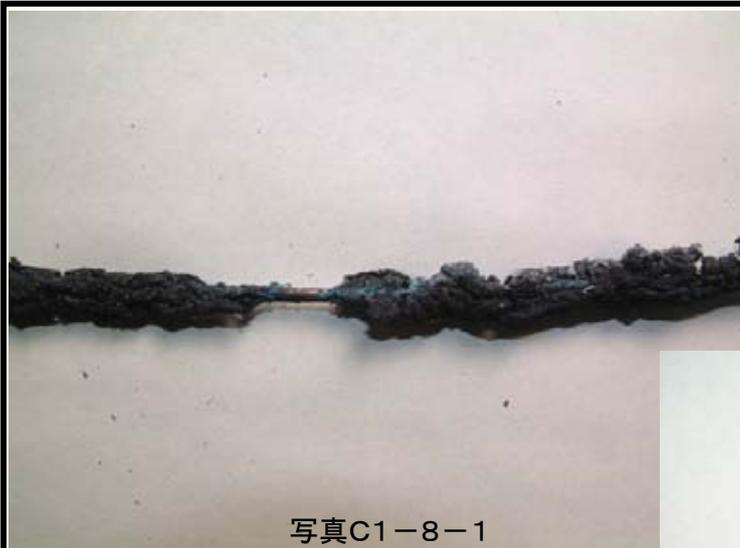
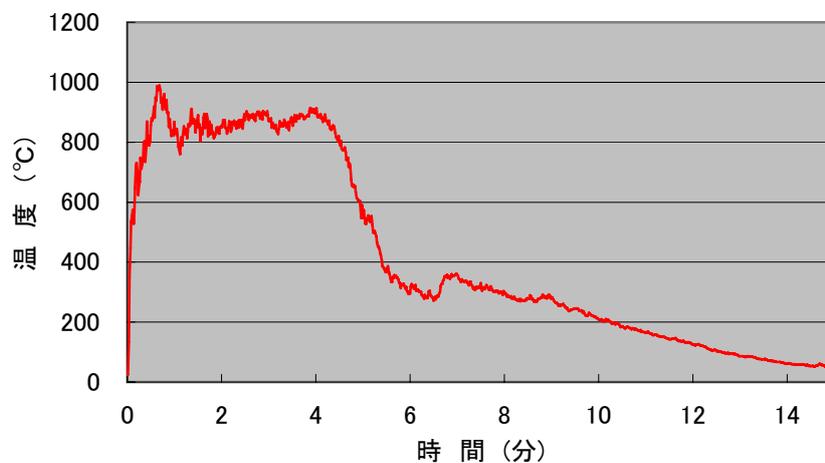
写真C1-7-2は、火炎曝露後1週間の状態。緑青は見られない。  
写真C1-7-3は、火炎曝露1か月の状態。緑青が発生することはなかった。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-8	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

試料: No. 1 (VVF 1.6φ) 備考:

<炉内の温度推移>

参考  
データ



写真C1-8-1



写真C1-8-2

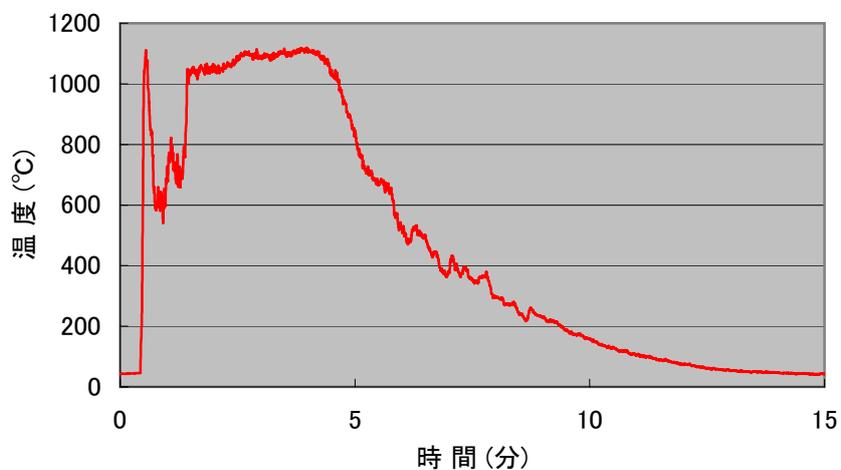
写真C1-8-1は、加熱1週間後の状態。わずかながらすでに緑青が発生している。  
写真C1-8-2は、加熱約1か月後の状態。広い範囲で緑青が発生している。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-9	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

試料: No. 2 (VFF 0.75mm<sup>2</sup>) | 備考:

< 炉内の温度推移 >

参考  
データ



写真C1-9-1



写真C1-9-2

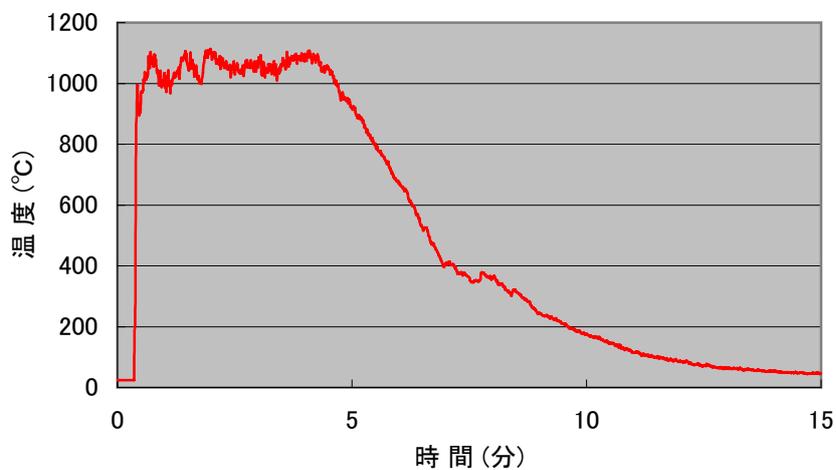
写真C1-9-1は、加熱1週間後の状態。わずかながらすでに緑青が発生している。  
写真C1-9-2は、加熱約1か月後の状態。広い範囲で緑青が発生している。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-10	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

試料: No. 3 (NNFF 0.75mm<sup>2</sup>) | 備考:

< 炉内の温度推移 >

参考  
データ



写真C1-10-1



写真C1-10-2

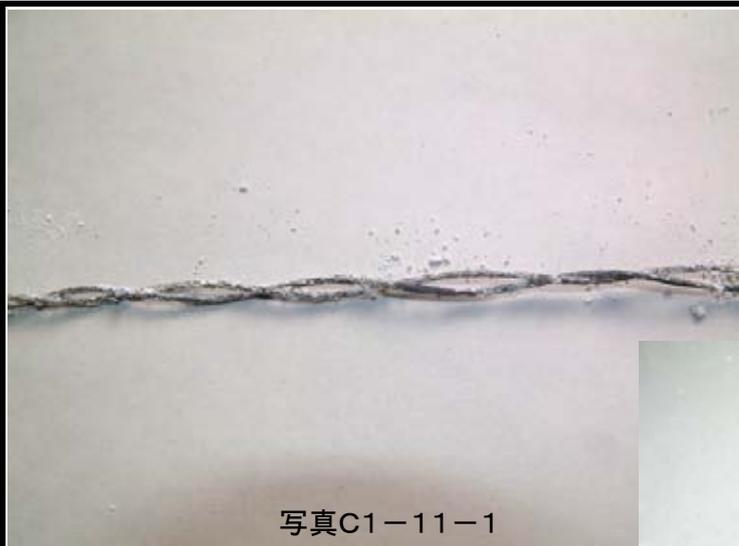
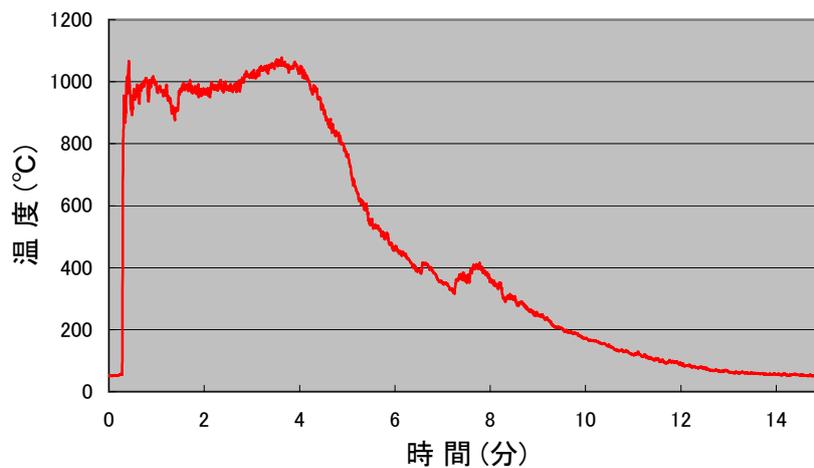
写真C1-10-1は、加熱1週間後の状態。  
写真C1-10-2は、加熱約1か月後の状態。いずれも緑青は発生しなかった。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C1	緑青	C1-11	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm<sup>2</sup>) | 備考:

< 炉内の温度推移 >

参考  
データ



写真C1-11-1



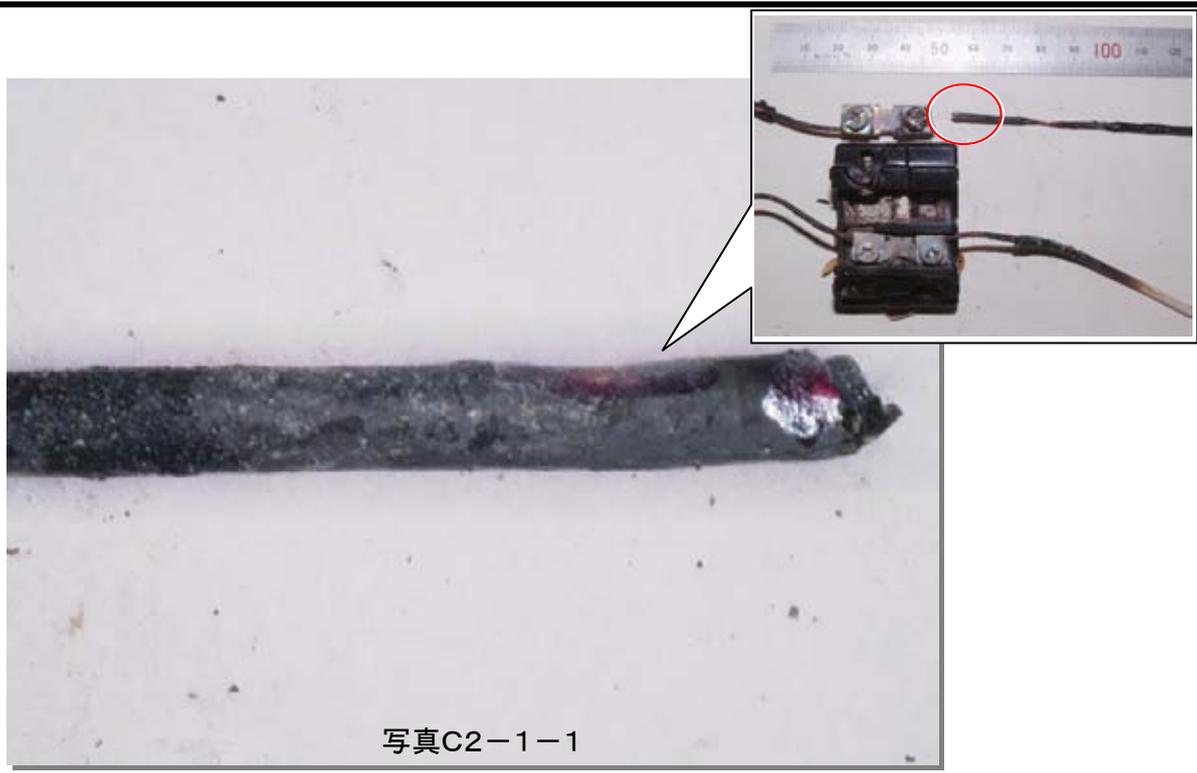
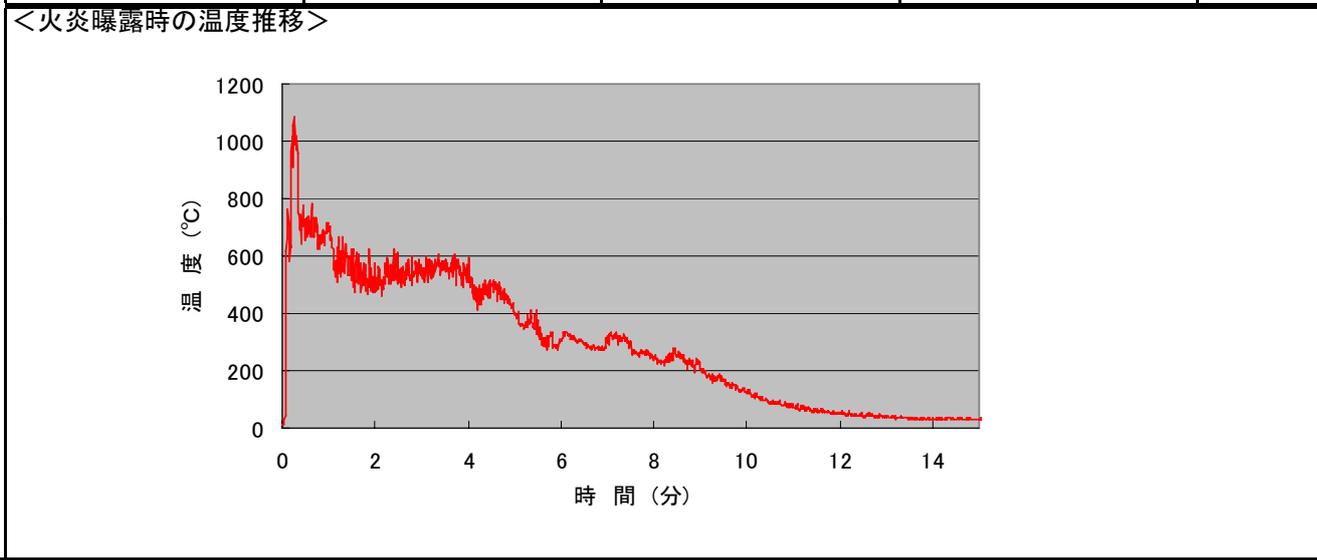
写真C1-11-2

写真C1-11-1は、加熱1週間後の状態。

写真C1-11-2は、加熱約1か月後の状態。いずれも緑青は発生しなかった。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-1	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★★

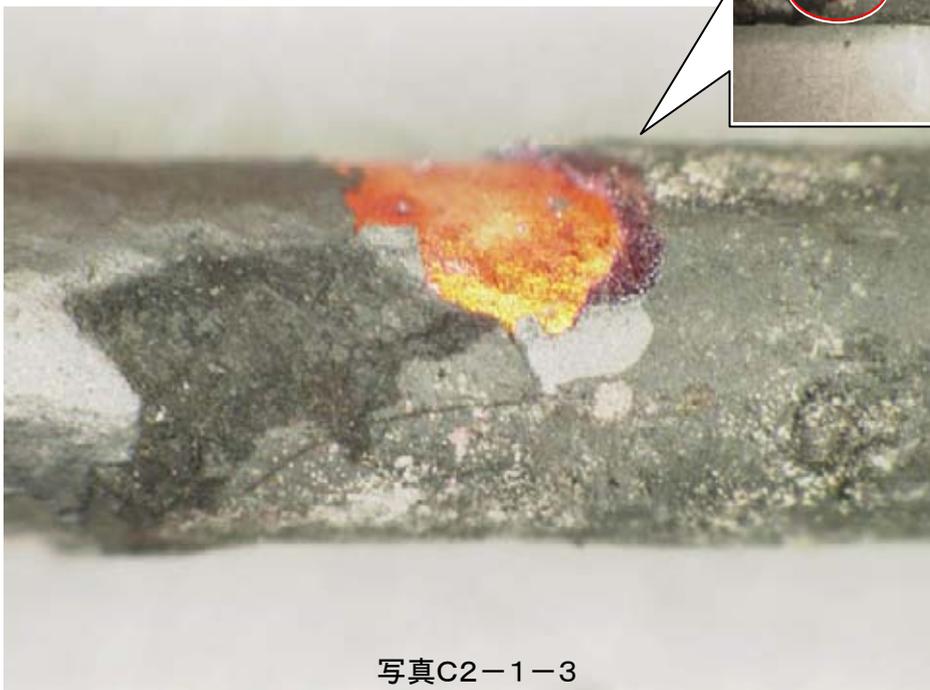
試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考: 電流負荷9.5A 端子台座金端部で溶断		
発火までの経過(概略)			
1 cyc ~ 336 cyc 38 °C ~ 64 °C	337 cyc ~ 446 cyc 105 °C ~ 122 °C	447 cyc ~ 521 cyc 365 °C ~ 437 °C	521 cyc 溶断



写真C2-1-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後の状態で、A1-1サンプルの断線部。端子台の座金端部で溶断しており、断線部近傍の黒色層の下にルビー色の層が生じている。



写真C2-1-2

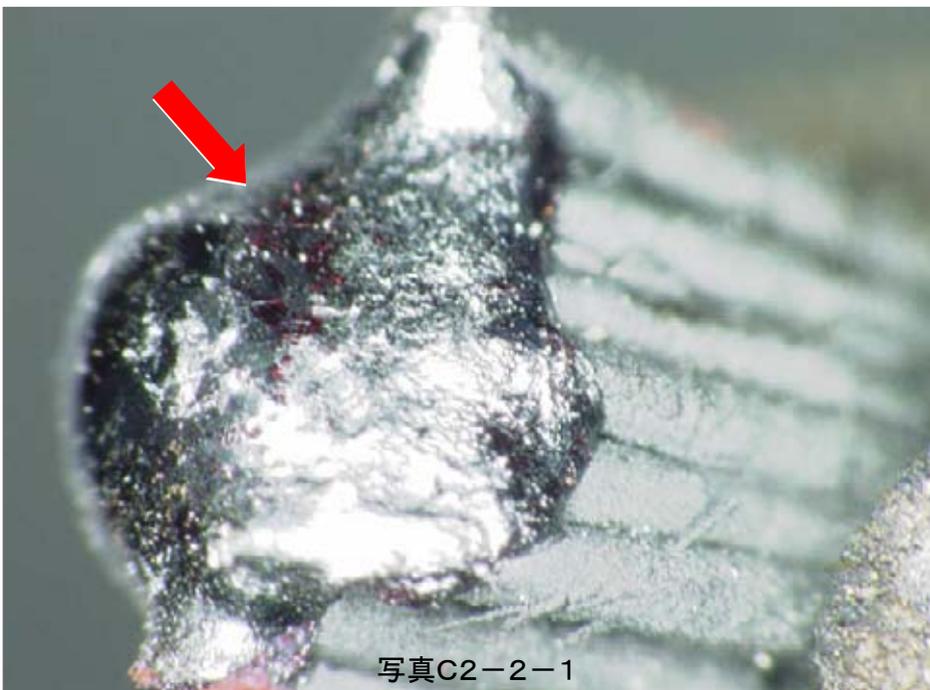


写真C2-1-3

写真C2-1-2及び写真C2-1-3は、火炎曝露後の状態。  
火炎曝露後も、一次被熱(接続不良)の際に生じたと思われる部分以外には、ルビー色の生成物は観察されなかった。  
なお、別の新品試料による二次被熱(クリブ炉加熱)条件においても、試料No.1及び2にはルビー色の生成物は見られなかった。  
吹き出し写真の上側は新品試料。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-2	一次被熱(接続不良) ★★★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )		備考: 電流負荷7.7~12A Y端子かしめ部出口で溶断 発火までの経過(概略)												
	1 cyc 61 °C	~ ~	887 cyc 135 °C	~ ~	888 cyc 77 °C	~ ~	1871 cyc 109 °C	~ ~	1872 cyc 121 °C	~ ~	2255 cyc 159 °C	~ ~	2256 cyc 283 °C	~ ~	2373 cyc 332 °C



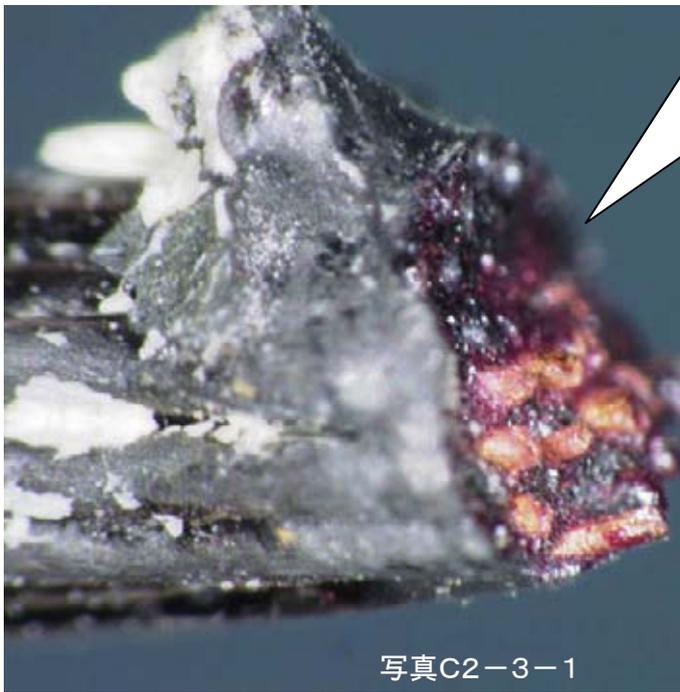
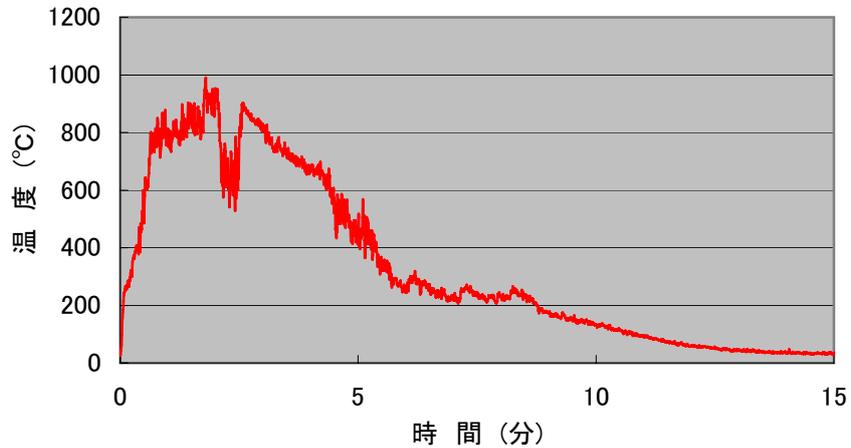
写真C2-2-1及び写真C2-2-2は、発火後の状態。  
断線部の溶融痕にルビー色の部分が見られる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-3	一次被熱(接続不良) → 火炎曝露 ★★

試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考: 電流負荷6~7.5A Y端子かしめ部出口で溶断			
発火までの経過(概略)				
1 cyc ~ 240 cyc 96 °C ~ 139 °C	241 cyc ~ 384 cyc 322 °C ~ 374 °C	385 cyc ~ 1535 cyc 108 °C ~ 320 °C	1536 cyc ~ 1782 cyc 97 °C ~ 241 °C	2054 cyc 溶断

<火炎曝露時の温度推移>

参考  
データ

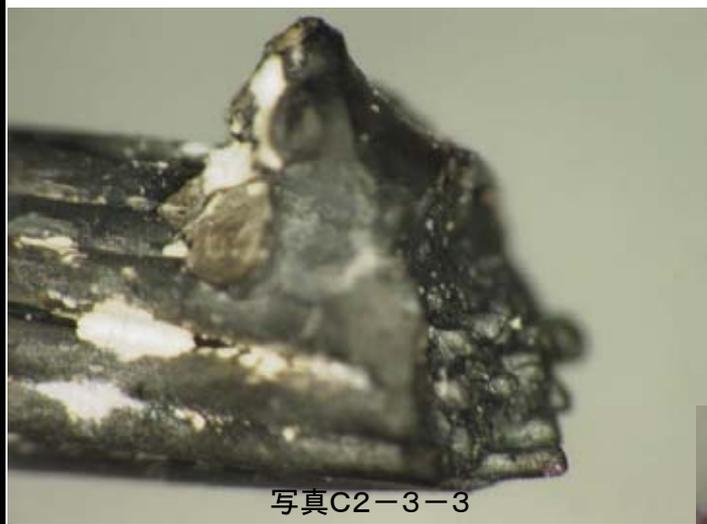


写真C2-3-1

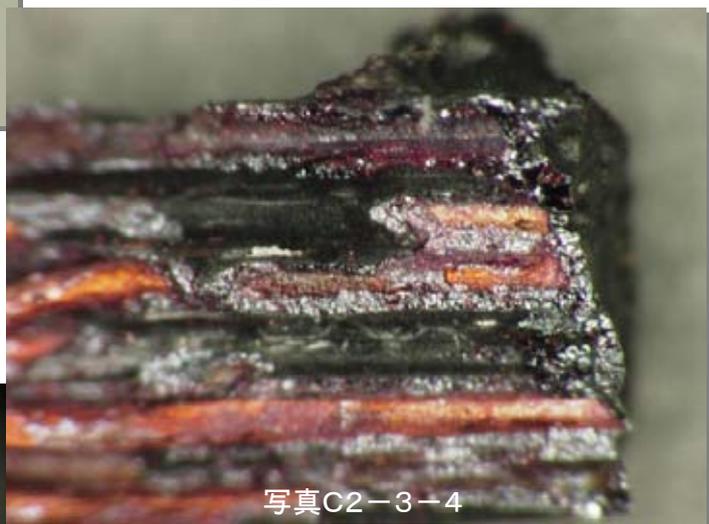


写真C2-3-2

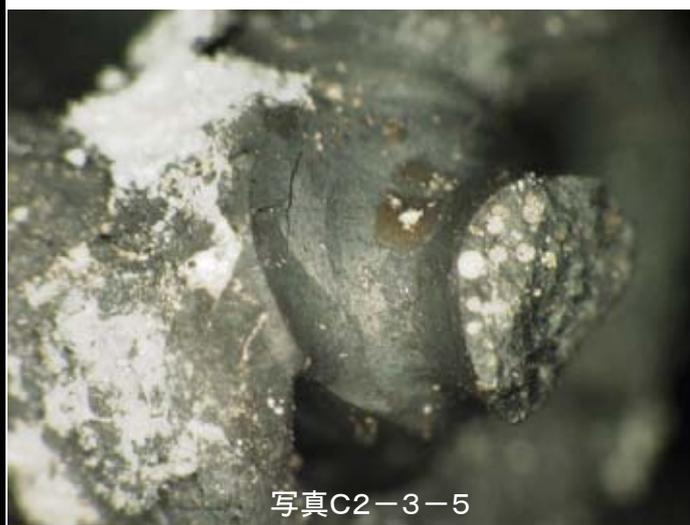
写真C2-3-1は、一次被熱(接続不良)条件による発火後のコード側断線部。素線の周囲をルビー色の層が囲んでいる。  
また、写真C2-3-2は、コードをかしめた端子の出口側断線で、ここにもルビー色の部分が見られる(矢印で示した分部)。



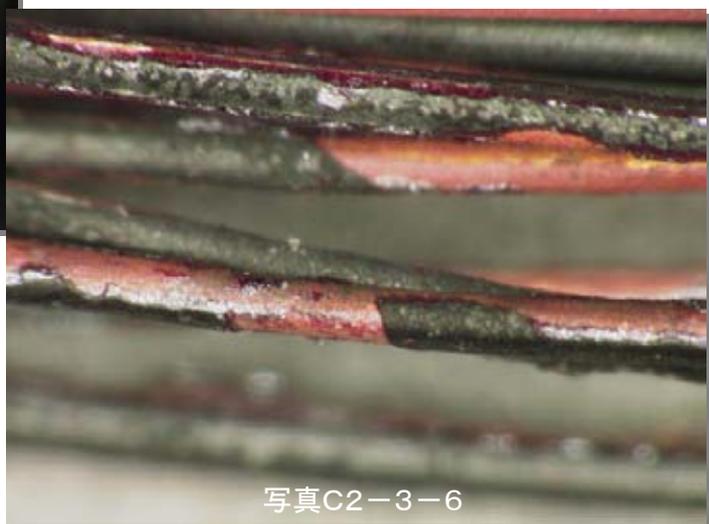
写真C2-3-3



写真C2-3-4



写真C2-3-5



写真C2-3-6

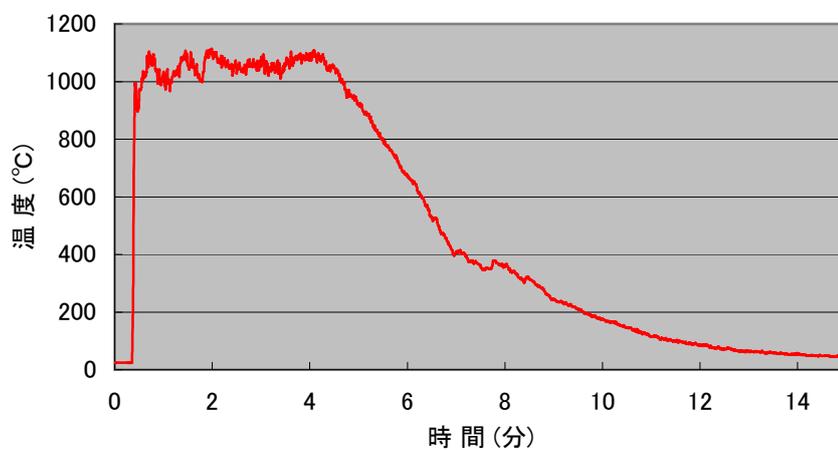
写真C2-3-3～写真C2-3-6は、火炎曝露後のサンプル。  
コード側断線部のルビー色は火炎の熱で酸化が進んだためか外側からは確認できなくなっていたが(写真C2-3-3)、破壊して内部を観察すると、素線の周囲にルビー色の部分が確認できた。  
端子側の断線部も外側からはルビー色の部分が確認できなくなっていた(写真C3-3-5)。  
写真C3-3-6は、断線部から約50mm離れた部分の素線表面。発火後の状態では被覆に熱の影響が見られない部分にも素線外周部にルビー色の層が生じており、火炎曝露の際に生じたものであると考えられる。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-4	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

試料: No. 3 (NNFF 0.75mm<sup>2</sup>) | 備考:

< 炉内の温度推移 >

参考  
データ



写真C2-4

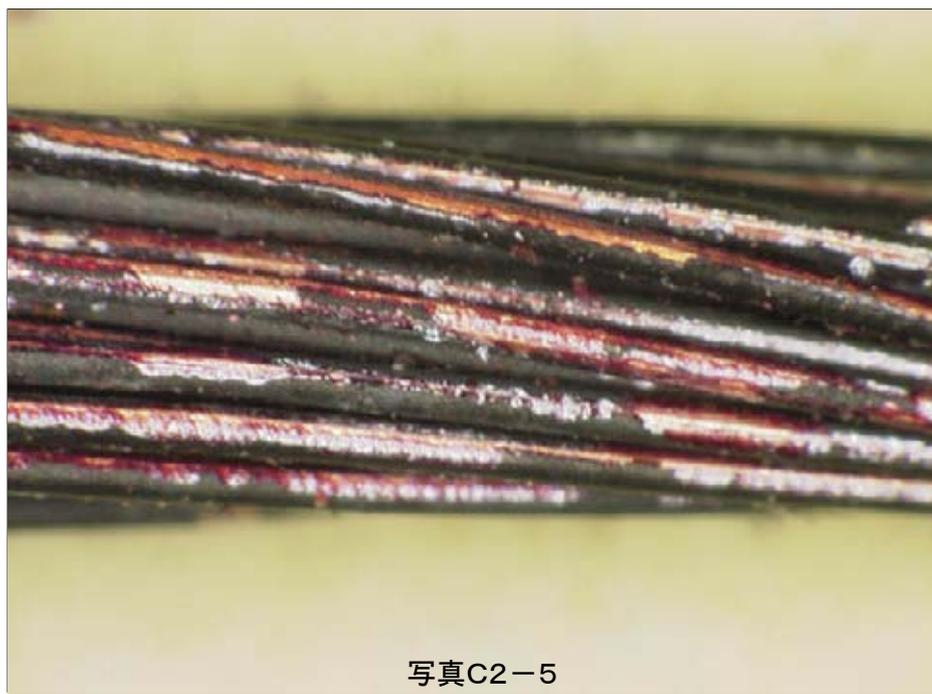
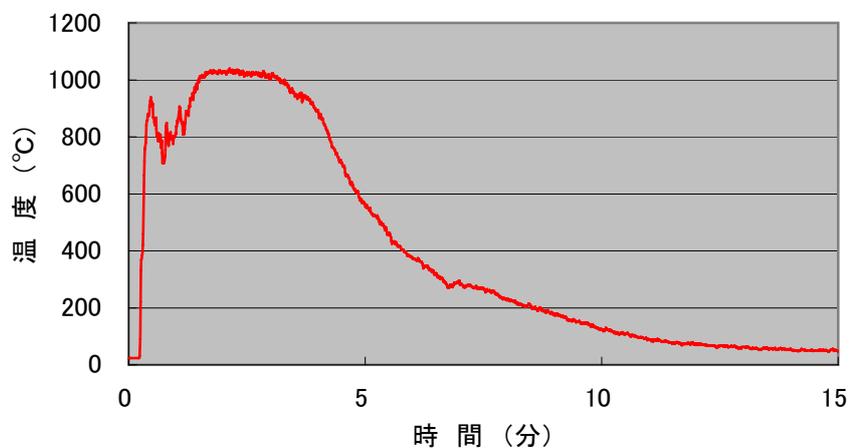
写真C2-4は、クリブ炉加熱でルビー色の生成物が見られたNNFFサンプルの外観。素線の表面にルビー色の生成物が層状に発生している。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-5	二次被熱(クリブ炉加熱) ★★★

試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm<sup>2</sup>) | 備考:

< 炉内の温度推移 >

参考  
データ



写真C2-5

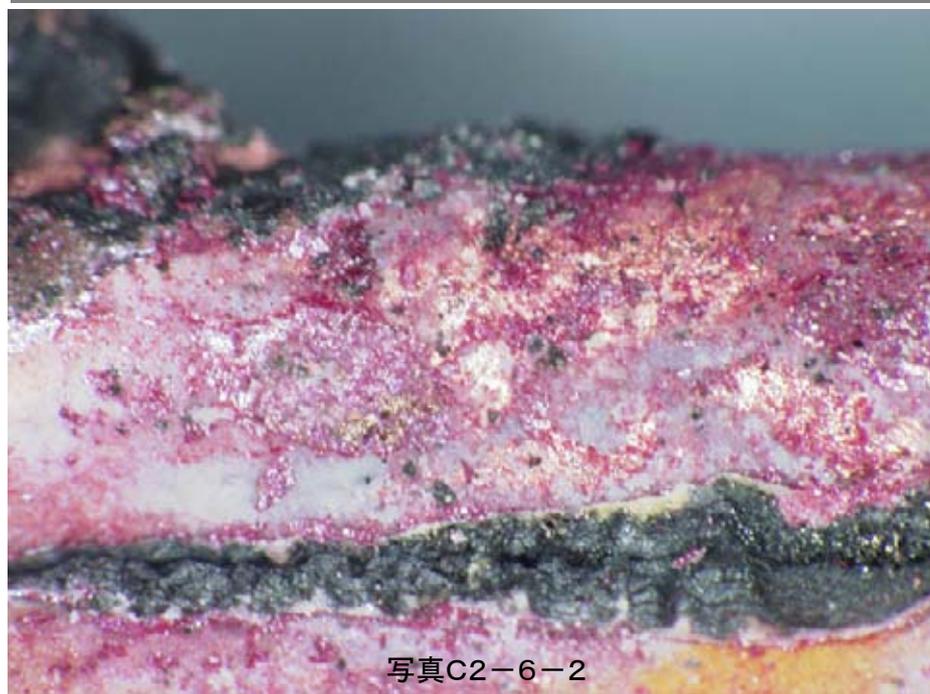
写真C2-5は、クリブ炉加熱でルビー色の生成物が見られたEM-ECTFサンプルの外観。素線の表面にルビー色の生成物が層状に発生している。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-6	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 1 (VVF 1.6φ)	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 20 分	



写真C2-6-1



写真C2-6-2

写真C2-6-1は、電気炉加熱でルビー色の生成物が見られたVVFサンプルの外観で、写真C2-6-2はその拡大。

ルビー色の生成物が見られるものの、一次被熱や火炎曝露サンプルで見られたものとは発生状況が異なり、表面がざらついて小さな粒状に発生していた。

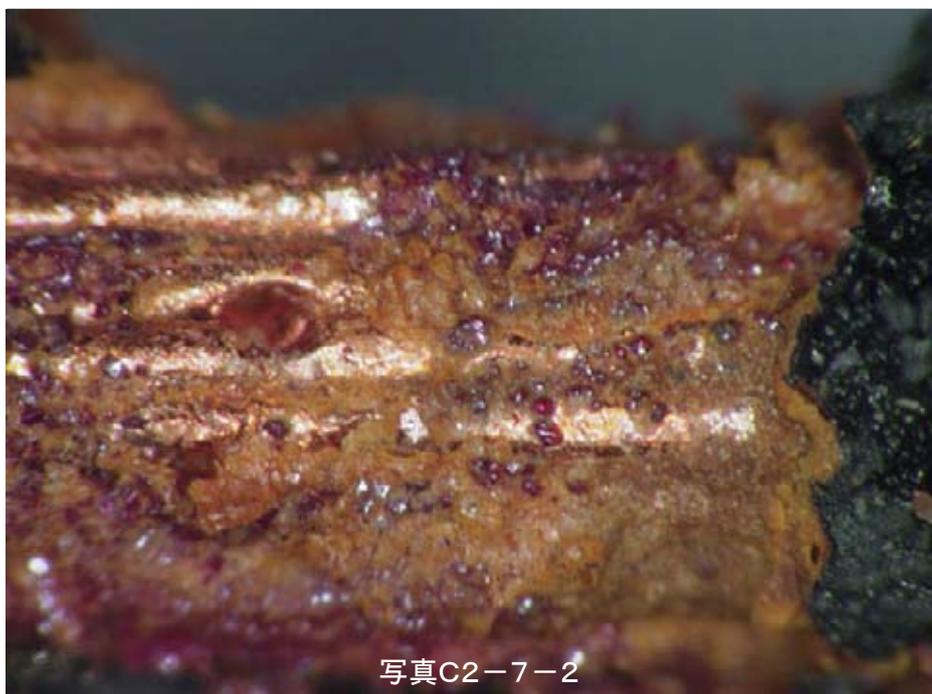
なお、本サンプルの加熱条件は800°C 20分の過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-7	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 2 (VFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 20 分	



写真C2-7-1



写真C2-7-2

写真C2-7-1は、電気炉加熱でルビー色の生成物が見られたVFFサンプルの外観で、写真C2-7-2はその拡大。ルビー色の生成物は見られたが、他の試料で見られるような層状のものではなく、粒状に発生していた。

VFFサンプルの電気炉加熱では、これ以上の加熱条件でも1000°C 10分以外では粒状のルビー色もしくは紫色の生成物が発生した。

なお、本サンプルの加熱条件は800°C 20分の過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-8	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 20 分	



写真C2-8-1



写真C2-8-2

写真C2-8-1は、電気炉加熱でルビー色の生成物が見られたNNFFサンプルの外観で、写真C2-8-2はその拡大。NNFFサンプルの電気炉加熱では、800°C 20分以上の加熱条件では部分的にルビー色の生成物が生じた。

なお、本サンプルの加熱条件は800°C 20分の過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-9	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 30 分	



写真C2-9-1



写真C2-9-2

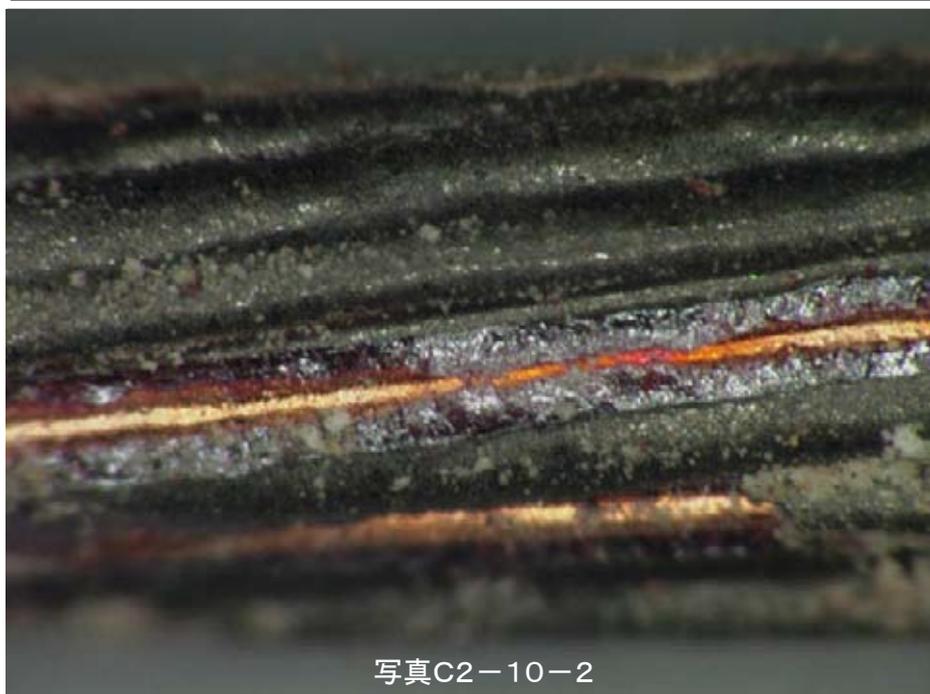
写真C2-9-1は、電気炉加熱でルビー色の生成物が見られたNNFFサンプルの外観で、写真C2-9-2はその拡大。  
NNFFサンプルの電気炉加熱では、800°C 30分及び60分加熱で表面のざらついた生成物が生じた。  
なお、本サンプルの加熱条件は800°C 20分の過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-10	二次被熱(電気炉加熱) ★

参考 データ	試料: No. 3 (NNFF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 1000 °C 加熱時間: 20 分	



写真C2-10-1



写真C2-10-2

写真C2-10-1は、電気炉加熱でルビー色の生成物が見られたNNFFサンプルの外観で、写真C2-10-2はその拡大。  
NNFFサンプルの電気炉加熱では、1000°C 20分以上で層状の生成物が生じた。  
なお、本サンプルの加熱条件は1000°C 20分の過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-11	二次被熱(電気炉加熱) ★

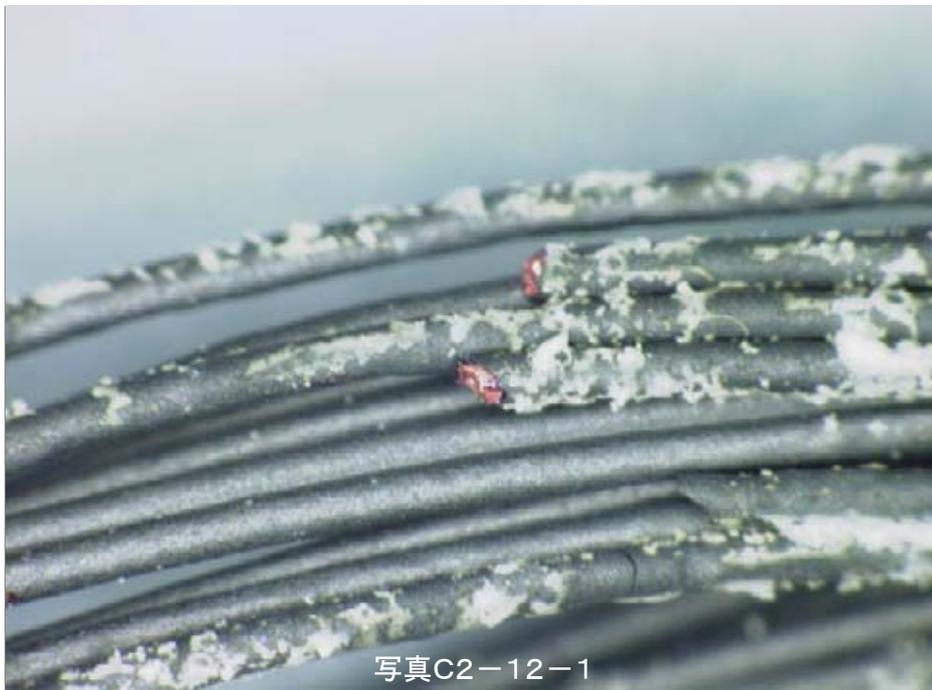
参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 600 °C 加熱時間: 30 分	



写真C2-11-1は、電気炉加熱でルビー色の生成物が見られたEM-ECTFサンプルの外観で、写真C2-11-2はその拡大。  
EM-ECTFサンプルの電気炉加熱では、600°C 30分加熱でルビー色の生成物を生じたが、一次被熱で見られたものとは異なり表面がざらついていた。  
なお、本サンプルの加熱条件は600°C 30分の過酷なものであり、特殊条件下(1頁参照)でないとほとんど観察されないと思われるもの。

記号	種類	サンプルNo.	被熱条件
C2	ルビー色の生成物	C2-12	二次被熱(電気炉加熱) ★★★

参考 データ	試料: No. 4 (EM-ECTF 0.75mm <sup>2</sup> )	備考:
	<加熱条件> 加熱温度: 800 °C 加熱時間: 10 分	



写真C2-12-1



写真C2-12-2

写真C2-12-1は、電気炉加熱でルビー色の生成物が見られたEM-ECTFサンプルの外観で、写真C2-12-2はその拡大。  
EM-ECTFサンプルの電気炉加熱では、800°C 10分以上では一次被熱で生じたものと似た層状の生成物が生じた。

## 付属資料 2

# 痕跡サンプルの作製方法及び解析結果



## 1. 試料

サンプルの作製には、一般家庭で用いられている電気製品の器具付きコード及び屋内配線を想定して表1に掲げた4種類の試料を使用した。

表1 試料

試料No.	試料	導体	分析結果(wt%)											
			分析部位	C	O	Zn	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	その他	
1	VVF (ビニル絶縁ビニルシース ケーブル平形)	φ1.6×2心	シース	60	15	-	-	-	-	-	-	20	5	-
			被覆白	55	15	-	-	-	-	-	-	20	9	1
			被覆黒	60	20	-	-	-	-	-	-	15	5	-
2	VFF (ビニル平行コート)	φ0.18×30 (公称断面積 0.75 mm <sup>2</sup> ) ×2心	-	45	15	-	-	1	1	-	25	10	3	
3	NNFF (クロロプレナム絶縁 平形コート)		-	45	25	1.5	3.5	2	5	1	10	4	3	
4	EM-ECTF (耐燃性ポリエチレン絶縁 耐燃性ポリエチレンシース キャブタイヤ丸型コート)		シース	50	30	-	15	-	0.5	-	-	-	-	4.5
		被覆白	60	20	-	15	-	2	-	-	-	-	3	
		被覆黒	60	20	-	15	-	1	-	-	-	-	4	

## 2. 作製方法

表2に示す一・二次被熱条件サンプルを、以下に示す方法で作製した。

表2 一・二次被熱条件サンプル

区分	対象 試料No.	サンプルの種類及び作製方法			目標有効 サンプル作製数	
一次被熱 サンプル	1~4	<端子部接続不良> 端子台のねじをゆるめた状態で素線が溶断するまで負荷電流を断続的に通電する。			試料 ごとに6	
	2~4 ※1	<過電流> 定格を超える電流値を素線が溶断するまで断続的に通電する。				
一次被熱後 火炎曝露	1~4	6個の一次被熱サンプルのうち3個をコンクリートブロック炉内でクリブを火源とする火炎で加熱する。			試料 ごとに3	
二次被熱 サンプル	1~4	<加熱方法>		<加熱温度>	各温度に おいて 10分、20分、 30分、60分	
		コンクリートブロック炉内でクリブを火源とする火炎で加熱する。				
		<LPガスバーナ火炎による加熱※2> 予め火炎の温度を測定し、所定の温度となるような位置に試料を置き加熱する。		400℃前後		
				600℃前後		
				800℃以上		
		<電気炉による加熱> 予め所定の温度に設定した電気炉内に試料を投入し加熱する。		200℃		
		400℃				
		600℃				
		800℃				
		1000℃				

※1：通常、一般家庭内の分岐回路に接続される安全ブレーカの定格電流値を考慮した場合、Fケーブルの屋内配線が溶断に至るような過電流条件は考えにくいことから試料No.1を除外した。

※2：LPガスバーナを用いた直火加熱実験の温度は、低温領域として400℃前後、中温領域として600℃前後、高温領域として800℃以上とした。

### 2.1 一次被熱サンプル

#### (1) 端子部接続不良

- ・長さ約150mmの試料を端子台の間に接続する。
- ・端子部のねじは、あらかじめ完全に締付けた後、No.1試料については180度、No.2~4の擦

り線試料については90度の位置まで緩めた状態とし、負荷電流値は大よそ定格の1/2～定格とした。

- ・通電中の端子接続部の温度を熱電対で監視しながら、端子部のねじ及び負荷電流値を調節し、45分通電、15分停止を1サイクルとして、試料が溶断するまで繰り返した。
- ・発熱部となる端子台部分には通電時に、より温度が上昇するよう保温用としてガラスウールを詰めた金属性の保温箱を被せた。
- ・異常発熱状態をできるだけ長く継続するために、両極を分離して実験を行った。
- ・試料No. 1については導体を真っ直ぐな状態で端子台に取り付け、試料No. 2～4の撚り線のものについては端末部にY端子を圧着して端子台に取り付けた。



写真1 実験装置



写真2 端子部接続不良で赤熱するNo.1 試料

## (2) 過電流

- ・長さ約350mmの試料を端子台の間に接続する。
- ・試料のほぼ中央部の温度を被覆の上から熱電対で測定しつつ負荷電流値を試料電線の定格の2～3倍の範囲で調節し、(1)の実験と同じサイクルを試料が溶断するまで繰り返す。
- ・(1)の実験と同様に試料中央部に保温箱を被せ、さらに両極を分離して実験を行った。



写真3 断線して発火するNo.2 試料



写真4 断線時に発火するNo.3 試料

## 2.2 火炎曝露

一次被熱サンプルで見られた特徴が、その後の火災炎に曝された後に容易に焼失するか否かを調べるため、2.1の実験で作製したサンプル6個のうち3個をコンクリートブロック炉内でクリブを火源とする火炎で加熱した。

おおよそ800℃以上の加熱が5分程度持続するよう<sup>※3)</sup>、火源にはクリブ(約20×20×300mmの松材)24本を井桁状に組み、着火剤としてメタノール約100ml、脱脂綿10gを用いた。さらにクリブの燃焼中は送風機による送風を行った。



写真5 コンクリートブロック炉内部の様子

※3(おおよそ 800°C以上の加熱が 5 分程度持続するよう):火災時の被熱時間を各種工法住宅の火災実験における温度変化<sup>1)</sup>からみると、軽量PC住宅(床上 180cm)で 800~900°Cの継続時間約 10 分、在来木造住宅(床上 60cm)で 700~800°Cの継続時間約 10 分、2"×4"一般住宅(床上 180cm)で 800~1000°Cの継続時間約 5 分、2"×4"公住形住宅(天井面下 60cm)で 700~800°Cの継続時間約 7 分などである。

### 2.3 二次被熱サンプル

異常のない配線が火災炎に曝された状態を想定し、新品の被覆付き試料を用い表 2 に示した各種の条件で、クリブ炉加熱サンプルは 2.2 と同様の方法により、また、バーナ加熱サンプルは写真 6 に示す六連式の大型 LP ガスバーナーを用いて各々加熱した。

更に、実際の火災では直接火災による被熱のほか、火災盛期では酸欠条件下で火災の輻射熱による被熱が考えられることから、電気炉による加熱実験も加えた。



写真 6 バーナーによる加熱実験の様子

## 3. 解析方法

作製したサンプルは、表 3 に示す方法により被熱条件ごとに線径減少、折損、緑青等の特徴的な痕跡を解析し観察画像を記録した。

表 3 解析方法

解析項目	解析方法
外観、表面の特徴解析	目視及びマイクロスコープによる観察
断面の特徴解析	研磨後断面の金属顕微鏡観察
元素分析、マッピング	研磨後断面での EDX による分析

#### 4. 解析結果

作製した一・二次被熱サンプルの解析結果の概要を表4に示し、以下痕跡ごとにその状況を述べる。

表4 解析結果の概要

特徴/痕跡	試料 No.	一次被熱		一次被熱後 火炎暴露	二次被熱		
		不具合要因	サンプルの特徴		クリブ炉	パーナ	電気炉
線径の減少	1	接続不良	局部的に著しい線径減少	一次の特徴が残る	線径減少なし	線径減少なし	1000°C30分以上で著しい線径減少
		接続不良	テーパ状(線径0.1mm以下～)	一次の特徴が残る	一次被熱ほどの線径減少なし(0.15mm～)	800°C60分で0.14～0.18mm	600°C、800°C、1000°Cの30分以上で一次同様の線径減少
	過電流	線径減少(線径0.1mm以下～)	一次の特徴が残る				
	3	接続不良	テーパ状(線径0.1mm以下～)	一次の特徴が残る	一次被熱ほどの線径減少なし(0.15mm～)	800°C30分で0.16～0.18mm	400°C、600°Cの60分及び1000°C30分以上で一次同様の線径減少
		過電流	線径減少(線径0.1mm以下～)	一次の特徴が残る			
	4	接続不良	テーパ状※4(線径0.04mm以下～)	一次の特徴が残る	一次被熱ほどの線径減少なし(0.16mm～)	線径減少なし	600°C、800°Cの60分及び1000°C20分以上で一次同様の線径減少
		過電流	※4	—			
	表面荒れ	1	接続不良	凹凸の荒れ	一次の特徴が残る	一次被熱ほどの荒れはなし	荒れなし
接続不良			著しい荒れ	一次の特徴が残る	一次被熱ほどの荒れはなし	一次被熱ほどの荒れはなし	600°C60分以上、800°C、1000°Cの20分以上で一次同様の荒れ
過電流		広範囲の荒れ	一次の特徴が残る				
3		接続不良	著しい荒れ	一次の特徴が残る	一次被熱ほどの荒れはなし	一次被熱ほどの荒れはなし	800°C20分以上で一次同様の荒れ
		過電流	広範囲の荒れ	一次の特徴が残る			
4		接続不良	浅い窪みの連続	一次の特徴が残る	一次被熱ほどの荒れはなし	一次被熱ほどの荒れはなし	1000°C以上で一次同様の荒れ
		過電流	※4	—			
心線表面の銅化合物		1	接続不良	硬質の厚い黒色層	新たな酸化層が生じたが黒色層は残存	薄い黒色又は赤黒い層のみ	800°C以上で薄い黒色層のみ
素線間の銅化合物	2	接続不良	少量	一次の特徴が残る	心線外周部、素線間に少量	800°C10分以上で心線外周部に少量	600°C.60分以上、800°C以上で一次同様の赤紫色の層
		過電流	多量(赤紫色)	一次の特徴が残る			
	3	接続不良	多量(赤紫色)	化合物は僅か残るのみだが、銅が素線外に拡散状態で残存	素線間に銅化合物は見られなかった。	素線間に銅化合物は見られなかった。	400°C60分で茶色の化合物が見られた以外は、素線間に銅化合物は見られなかった。
		過電流	多量(赤紫色)				
	4	接続不良	なし※4	—※5	素線間に銅化合物は見られなかった。	素線間に銅化合物は見られなかった。	素線間に銅化合物は見られなかった。
		過電流	※4	—			

特徴 /痕跡	試料 No.	一次被熱		一次被熱後 火炎暴露	二次被熱		
		不具合要因	サンプルの特徴		クリブ炉	バーナ	電気炉
折損、 亀裂、 粒界割れ	1	接続不良	なし	— ※5	なし	なし	800℃10分以上で 粒界割れ、20及び 30分では折り曲げ ると亀裂 or 粒界 割れ
		接続不良	なし	— ※5	なし	なし	なし
	過電流	なし	— ※5				
	3	接続不良	なし	— ※5	折損あり	800℃以上の加熱 で折損、亀裂、粒 界割れ	400℃60分以上で 折損、亀裂、粒界 割れ
		過電流	なし	— ※5			
	4	接続不良	なし ※4	— ※5	なし	なし	800℃以上で折損
		過電流	※4	—			
	線間溶出	1	接続不良	なし	— ※5	なし	なし
接続不良			なし	— ※5	なし	なし	600℃60分 から発生
過電流		なし	— ※5				
3		接続不良	なし	— ※5	なし	なし	なし
		過電流	なし	— ※5			
4		接続不良	なし ※4	— ※5	なし	なし	なし
		過電流	※4	—			
線間溶着		2	接続不良	— ※6	— ※5	あり	400℃10分 から発生
	過電流		— ※6	— ※5			
	3	接続不良	— ※6	— ※5	あり	600℃10分 から発生	400℃20分 から発生
		過電流	— ※6	— ※5			
	4	接続不良	— ※6	— ※5	あり	600℃20分 から発生	600℃10分 から発生
		過電流	※4	—			
緑青	1	接続不良	発生	発生	発生	— ※7	— ※7
		接続不良	発生	発生	発生	— ※7	— ※7
	過電流	発生	発生				
	3	接続不良	3点中2点で発生	発生せず	発生せず	— ※7	— ※7
		過電流	発生	— ※5			
	4	接続不良	発生せず ※4	— ※5	発生せず	— ※7	— ※7
		過電流	※4	—			

特徴 /痕跡	試料 No.	一次被熱		一次被熱後 火炎暴露	二次被熱		
		不具合要因	サンプルの特徴		クリブ炉	パーナ	電気炉
ルビー色の生成物	1	接続不良	断線部近傍に発生したものがあつた	一次の特徴が残る	一部にごくわずか	なし	800℃20分以上でわずかに発生
	2	接続不良	なし	— ※5	なし	なし	600℃20分以上で発生 800℃20分以上では粒状
		過電流	なし	— ※5			
	3	接続不良	断線部に発生したものが1点あつた	異常発熱部位から離れた位置に生じた	あり	なし	800℃20分以上で発生
		過電流	なし	— ※5			
	4	接続不良	あり	一次の特徴は残ったものの、異常発熱部位から離れた位置にも生じた	あり	なし	600℃30分以上で発生
		過電流	※4	—			

※4：接触不良サンプルの3点中1点及び過電流サンプルについては6か月間以上通電して断線しなかったためサンプル作製を中止した。

※5：一次被熱サンプルでその特徴が見られなかったことから「該当なし」とした。

※6：異常発熱していた断線部近傍では素線が著しく酸化するなどしており、確認できなかった。

※7：緑青の二次被熱サンプルについては、クリブ加熱実験でのみ作製。

#### 4.1 線径の減少

##### (1) 一次被熱

<試料No. 1>

- ・素地部分の線径は局部的に0.8～1.4mm程度に著しく減少していた。

<試料No. 2>

- ・断線部に向かって素線がテーパ-状に線径が減少している状態が観察されるサンプルがあつた(写真7)。
- ・過電流サンプルでは素線径が0.1mm以下まで減少しているものがあつた。

<試料No. 3>

- ・接続不良サンプルでは素線が断線部に向かってテーパ-状に線径が減少しているものがあつた。
- ・過電流サンプルでは素線径が0.1mm以下まで減少しているものがあつた。

<試料No. 4>

- ・断線部の直近では断線部に向かってテーパ-状に0.04～0.07mmまで著しく線径が減少していた。



写真7 一次被熱サンプルでテーパ-状に線径が減少した素線(試料No.2)

##### (2) 火炎曝露

<試料No. 1>

- ・一次被熱によって生じた線径の減少は火炎曝露後も残存した。

<試料No. 2>

- ・断線部に向かってテーパ-状に線径が減少した素線が認められ、一次被熱によるものの残存と考えられた。

<試料No. 3>

- ・断線部近傍の断面で素線径が減少した様子は残存した。

<試料No. 4>

- ・断線部の直近では火炎曝露前同様、著しく線径が減少していた。
- ・火炎曝露前には外観変化の生じていなかった断線部から離れた部分の素線には、著しい線径の減少は生じていなかった。

(3)二次被熱

①クリブ炉加熱

いずれの試料についても一次被熱サンプルで見られたような著しい線径の減少は生じなかった。

②バーナ加熱

試料No. 2 及び 3 の外周部で0.14～0.16mmまで線径が減少していたものの、一次被熱で見られたような著しい線径の減少を生じたものは無かった。

③電気炉加熱

<試料No. 1>

- ・1000℃20分までは大きな変化は生じなかったが、1000℃30分では約1.4mm、60分加熱では0.96mm以下まで線径が減少した。

<試料No. 2>

- ・400℃60分、600℃20分以上のサンプルでは主に外周部で最小0.1mm程度まで素線径が減少した。
- ・600℃、800℃、1000℃の30分以上では一次被熱と同程度の0.1mm前後まで素線径が減少し（写真8）、一部の素線は全酸化していると思われるものも見られた。1000℃の60分サンプルでは断面全体が酸化した。



写真8 電気炉 600℃60分サンプル  
(試料No.2)

<試料No. 3>

- ・400℃60分、600℃60分で外周部に0.1mmを下回る線径の素線が見られたほか、1000℃30分及び60分加熱でも一次被熱と同程度の線径となった。

<試料No. 4>

- ・600℃30分、800℃20分以上のサンプルでは外周部からは明らかな素線径の減少が見られた（最小線径は600℃30分、800℃20分のいずれも0.14mm）。
- ・600℃、800℃の60分及び1000℃20分以上で線径が0.1mmを下回り、一次被熱に近似した線径の減少が見られたほか、中には全酸化していると思われる素線も見られた。

一次被熱サンプルに生じた銅線の線径減少は、出火後の火炎曝露後も残存し、二次被熱サンプルのクリブ炉加熱及びバーナ加熱では一次被熱時と同等の線径減少は生じなかった。試料No. 2～4の撚り線では、電気炉加熱では400℃60分及び600℃30分以上の加熱条件で一次被熱サンプルと同程度の線径まで減少したものの、一次被熱サンプルのように局部的なものではなかった。

**以上、銅線の局所的な著しい線径の減少は、異常発熱の痕跡であり、火災炎に曝されても容易に消失せず、二次被熱条件では特殊条件でないと生じない<sup>※8</sup>と考えられた。**

※8(二次被熱条件では特殊条件でないと生じない)：例えば、二次被熱サンプルにおいて著しい線径の減少が認められたのは、電気炉加熱のうち400℃60分及び600℃30分以上の条件であり、各種工法住宅の火災温度・時間<sup>※3)</sup>からみれば一般的な住宅火災では想定され難い長時間の加熱条件設定においてのみであり、その他の電気炉加熱条件、クリブ及びバーナによる加熱条件では認められなかった。その他、表面荒れ、折損、線間溶出、線間溶着でも類いの傾向が認められた。(表4「解析結果の概要」参照)

## 4.2 表面荒れ

### (1) 一次被熱

<試料No. 1>

- ・表面にかさぶた状に生じた黒色層を除去すると、銅素地は著しく凸凹に荒れていた。

<試料No. 2>

- ・素線の表面は著しく荒れていた。

<試料No. 3>

- ・断線部から10~20mm前後の範囲で素線表面が著しく荒れていた。
- ・過電流サンプルでもほぼ同様の素線の荒れが生じていた。

<試料No. 4>

- ・断線部近傍の銅素地表面には浅い窪みが連続したような形状の荒れが生じていた。

(2) 火炎曝露

<試料No. 1>

- ・かさぶた状の表面の黒色層を除去すると、発火直後に観察した別試料と同様の著しい荒れが生じていた。

<試料No. 2>

- ・火炎曝露によってより酸化が進み、表面全体が黒く変色したものの、断線部近傍で外周部の黒色層を取り除くと表面の荒れた素線が観察された。

<試料No. 3>

- ・断線部近傍は硬い黒色層が生じて素線表面の観察が困難なものが多かったが、断線部から離れた部分でも多少の荒れは見られたものの、断線部近傍の荒れは他の部位よりも強く、火炎曝露前の状態をほぼとどめていると考えられた。

<試料No. 4>

- ・断線部近傍には一次被熱で生じていたものと同様な荒れが見られ、断線部から離れたそれ以外の部位にはほとんど荒れは見られなかった。

(3) 二次被熱

① クリブ炉加熱

<試料No. 1>

- ・銅線表面には多少の荒れは生じたものの一次被熱サンプルで見られたような著しい荒れは生じなかった。

<試料No. 2>

- ・細かくざらざらした荒れは見られたが一次被熱で見られたほどの著しい荒れは生じなかった。

<試料No. 3>

- ・素線表面の荒れについては一次被熱サンプルの断線部近傍で見られたものほど著しいものは無かった。

<試料No. 4>

- ・一次被熱で見られたような表面の荒れは生じておらず光沢の強い部分も見られた。

② バーナ加熱

<試料No. 1>

- ・全サンプルを通じて一次被熱サンプルで見られたような著しい表面の荒れは見られなかった。

<試料No. 2>

- ・全サンプルを通じて細かくざらざらした表面のものは見られたが、一次被熱サンプルで見られたほどの荒れは見られなかった。

<試料No. 3>

- ・800℃60分加熱においても一次被熱サンプルで見られたような著しい表面の荒れは生じなかった。

<試料No. 4>

- ・800℃以上60分の加熱条件においても一次被熱サンプルで見られたような荒れは生じなかった（写真9）。



写真9 バーナ加熱 800℃以上 60分  
サンプル（試料No. 4）

### ③電気炉加熱

#### <試料No. 1>

- ・1000℃ 20分以上のサンプルで一次被熱サンプルに見られたものと酷似した黒色層と著しい表面の荒れが生じた（写真10）。

#### <試料No. 2>

- ・600℃60分以上、800及び1000℃20分以上のサンプルでは素線表面に著しい荒れが生じた。

#### <試料No. 3>

- ・800℃20分以上の加熱では表面に著しい荒れが生じた。

#### <試料No. 4>

- ・1000℃以上のサンプルでは一次被熱と同様な荒れが生じた。



写真10 電気炉 1000℃60分  
加熱サンプル（試料No. 1）

いずれの試料においても一次被熱サンプルでは銅線表面に著しい荒れが生じた。

二次被熱でも電気炉加熱600℃30分以上の加熱で同様な痕跡を生じたものがあったが、一次被熱サンプルのように局部的なものではなかった。

**以上、銅線表面の著しい荒れは、一次被熱条件でのみ認められ、火災炎に曝されても容易に消失せず、二次被熱条件では特殊条件でないと生じない<sup>※</sup>と考えられた。**

#### 4.3 心線表面の銅化合物（試料No. 1）

##### (1) 一次被熱

- ・いずれのサンプルも断線部の近傍には硬質の容易に剥離しない黒色層が生じた（写真11）。

##### (2) 火炎曝露

- ・火炎曝露によって新たな酸化層が生じたものの、一次被熱で生じた黒色層は残存した。

##### (3) 二次被熱

- ・クリブ炉加熱では薄い黒色又は赤黒い層が生じたのみであった。
- ・バーナ加熱では800℃以上で薄い黒色層が生じたのみであった。
- ・電気炉1000℃20分以上の加熱で一次被熱サンプルと同様な黒色層が生じた（写真12）。



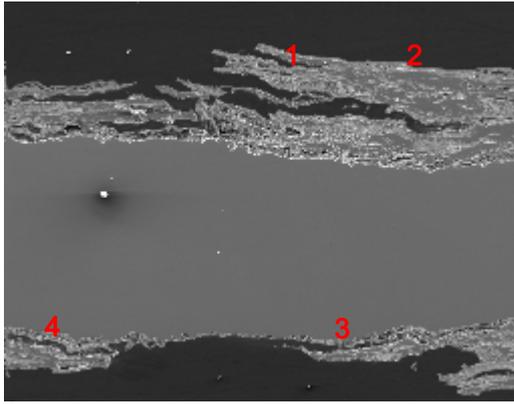
写真11 一次被熱サンプルの表面（例）  
矢印部分が黒色層



写真12 電気炉 1000℃20分加熱  
サンプル

一次被熱サンプルの断面をEDXにより元素分析したところ、黒色層からは酸素を25～30wt% 検出したほか、絶縁被覆の組成である塩素やカルシウムを検出し、外周部から剥離している様子が観察された（図1）。

通電時の発熱によって絶縁被覆が熱分解して腐食性ガスが生じ、銅線を酸化・腐食させたものと考えられる。



分析位置	分析結果					
	O	Cu	Si	Cl	Ca	その他
1	29.0	66.3	1.1	1.3	0.9	1.4
2	24.2	75.8				
3	24.3	75.7				
4	26.7	68.3	3.3	1.1	0.6	

図1 一次被熱サンプルの断面における元素分析位置とその結果

一次被熱で生じた外周部の銅化合物は出火後の火炎曝露後も残存し、二次被熱サンプルのクリブ炉加熱及びバーナ加熱ではそうした痕跡は生じなかった。

電気炉加熱では1000℃20分以上の加熱条件で一次被熱サンプルと同様な状態となったが、一次被熱サンプルのように局部的なものではなかった。

**以上、心線表面の銅化合物は、一次被熱条件でのみ認められ、火災炎に曝されても容易に消失せず、二次被熱条件では特殊条件でないと生じない<sup>※</sup>と考えられた。**

#### 4.4 素線間の銅化合物(試料No. 2～4)

##### (1) 一次被熱

###### <試料No. 2>

- ・ 接続不良サンプルでは、いずれも先端部の10～20mm前後が黒色の塊となっており、この部分を破壊してみると少量だが線間に異物が生じていた。
- ・ 過電流サンプルでも断線部近傍は硬化して炭化した被覆が付着するなどして黒色の塊となっていた。
- ・ 塊の内部では線径の減少した素線が赤紫色の堆積物に埋もれた状態が観察された(写真13)。
- ・ 赤紫色の堆積物を元素分析したところ、銅、酸素、カルシウム、塩素などを検出した。



写真13 素線間の銅化合物  
(試料No. 2)

###### <試料No. 3>

- ・ 接続不良サンプルでは断線部から10mmほどの部分が試料No. 2で見られたものと同様な表面が黒色の塊となっており、破壊するとやはり赤紫色の異物に埋もれた素線があらわれた。
- ・ 過電流サンプルでもほぼ同様に断線部近傍で素線間に異物が生じていた。

###### <試料No. 4>

- ・ 断線部近傍の素線の表面には厚い黒色層が生成していたものの、素線間に銅化合物は見られなかった。

##### (2) 火炎曝露

###### <試料No. 2>

- ・ 火炎曝露によってより酸化が進み、表面全体は黒く変色したが、一次被熱サンプルの断線部近傍で見られた素線間の化合物は火炎曝露後も残存した。

###### <試料No. 3>

- ・ 断線部近傍で素線の銅が断面の全体に拡散している様子は火炎曝露したサンプルでも観察された。

###### <試料No. 4>

- ・ 一次被熱で素線間に銅化合物が見られなかったことから、該当なし。

### (3) 二次被熱

#### ①クリブ炉加熱

##### <試料No. 2>

- ・素線表面に黒色又は赤黒い層、外周部及び線間に少量の銅化合物を生じたものがあった。

##### <試料No. 3>

- ・表面は概ね黒色の酸化層で覆われ、その下にルビー色の層を生じた部分が見られたが、素線間に銅化合物は見られなかった。元素分析の結果、組成は銅と酸素であり、塩素やカルシウムなどは検出しなかった（写真14）。

##### <試料No. 4>

- ・表面には黒色層が生じ、その下にルビー色の層が生じていたが、素線間に銅化合物は見られなかった。



写真 14 クリブ炉加熱後サンプル  
(試料No. 3)

#### ②バーナ加熱

##### <試料No. 2>

- ・800℃以上のサンプルで銅と被覆からの元素による化合物を生じたが、一次被熱サンプルで見られたような素線が化合物に埋もれて塊となったようなものは無かった。

##### <試料No. 3>

- ・400℃60分以上の加熱で黒色層が生じたものの、一次被熱サンプルで見られたような銅が断面に広く拡散したような状況は見られなかった。

##### <試料No. 4>

- ・素線間に銅化合物は見られず、800℃以上60分の加熱条件においても、薄い黒色層が生じたのみで、一次被熱サンプルで見られたような厚い酸化層は生じなかった。

#### ③電気炉加熱

##### <試料No. 2>

- ・600℃60分以上、800℃以上のサンプルでは一次被熱サンプルに類似した素線間の赤紫色の銅化合物が生じた（写真15）が、一次被熱サンプルのような局所的なものではなかった。

##### <試料No. 3>

- ・400℃60分で茶色の銅化合物を生じ、800℃20分以上では黒色層とルビー色の層が生じたが、断面に素線の銅が拡散した様子は見られなかった。

##### <試料No. 4>

- ・600℃30分サンプルでルビー色の層が生じたほか、800℃以上では黒色層とルビー色の層が生じたが、素線間に銅化合物は見られなかった。



写真 15 電気炉 600℃60分加熱  
サンプル(試料No.2)

一次被熱サンプルの試料No. 2、3の断線部近傍の断面について元素分析を行ったところ、銅、酸素を主体に塩素、カルシウムといった元素を検出した。素線の銅と酸素の化合物が被覆素材である塩素、カルシウムなどと堆積物を形成しているものと考えられる（図2）。

また、この化合物の分布状況は、火災曝露後も同様に認められた（図3）。

PVC樹脂では150℃近辺から脱塩酸反応が生じ<sup>2)</sup>、このとき生じた塩素が充填材の炭酸カルシウムと反応して塩化カルシウムを生じるといわれている<sup>3)</sup>。通電時の異常発熱によってPVCの脱塩酸反応が生じて潮解性の塩化カルシウムを生じ、休止時の温度低下時に吸湿した際に一部の塩素と大気中の水分が結合して塩酸になるなどして、さらに通電時の温度上昇が加わってこうした化合物が生じたと考えられる。

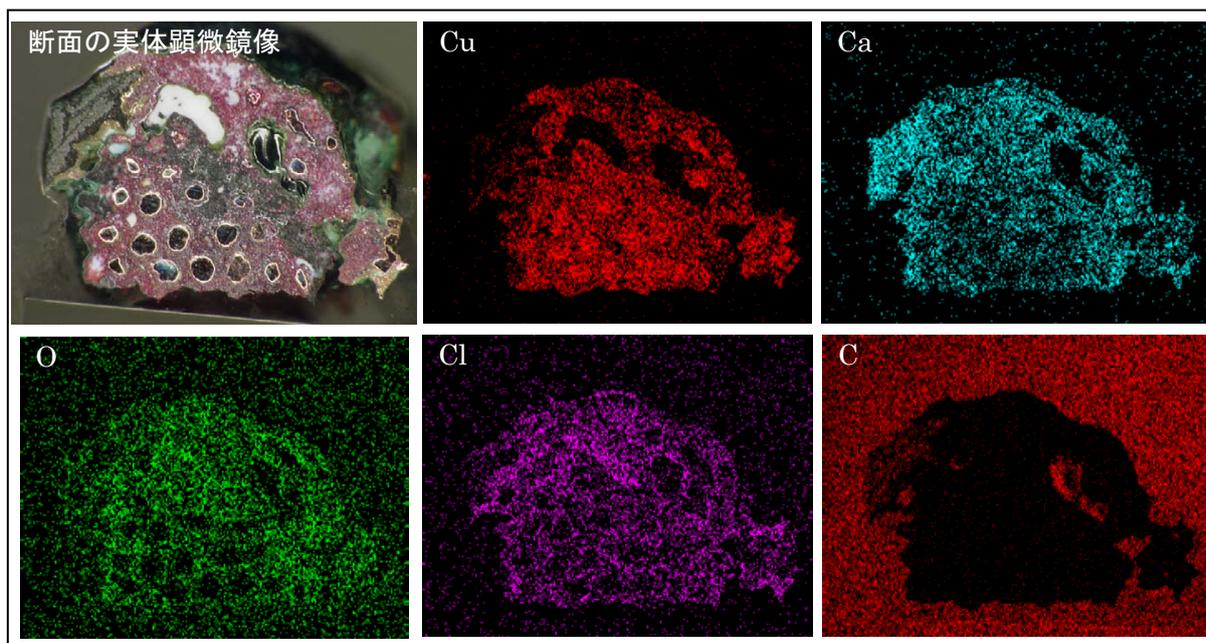


図2 一次被熱後サンプルの断線部近傍の断面における主な検出元素のマッピング分析結果（試料No.2）

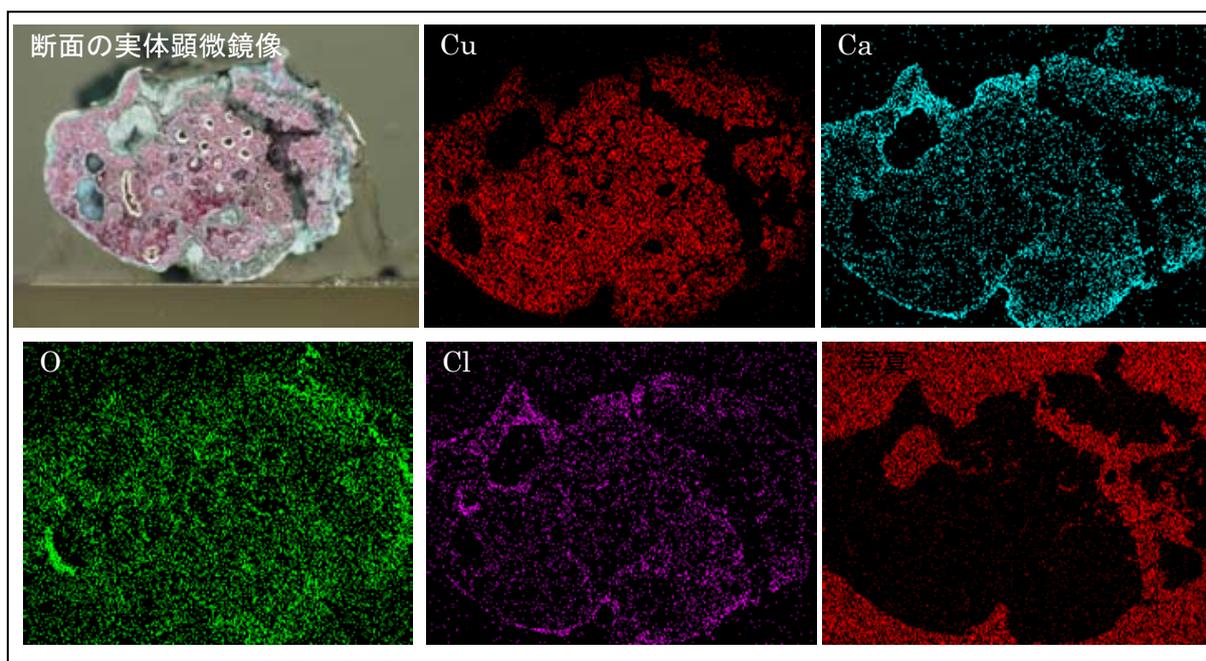


図3 火炎曝露サンプルの断線部近傍の断面における主な検出元素のマッピング分析結果（試料No.2）

以上、素線間の銅化合物は、一次被熱条件でのみ認められ、火災炎に曝されても容易に消失せず、二次被熱条件では特殊条件でないと生じない<sup>※8</sup>と考えられた。

#### 4.5 折損、亀裂、粒界割れ

##### (1) 一次被熱

<試料No. 1~4>

- ・すべての試料で折損したサンプルは無かった。

##### (2) 火炎曝露

- ・一次被熱サンプルではこの特徴が見られなかったことから該当なし。

### (3) 二次被熱

#### ① クリブ炉加熱

- ・ 試料No. 1、2及び4で折損を生じたサンプルは無かった。
- ・ 試料No. 3については加熱後の試料は炉から取り出そうとただけで容易に折損が生じた。

#### ② パーナ加熱

- ・ 試料No. 3の800℃以上の加熱条件で素線が折損しやすく、断面には結晶粒界に沿った亀裂(以下、粒界割れという)が観察された(写真16)以外には折損したサンプルは無かった。

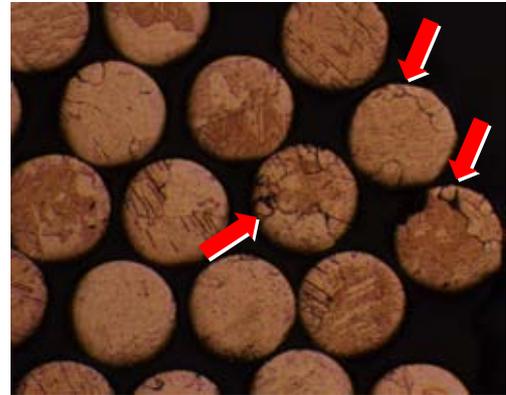


写真16 パーナ800℃10分加熱サンプルで見られた粒界割れ(試料No. 3)

#### ③ 電気炉加熱

##### <試料No. 1>

- ・ 800℃30分以上の加熱サンプルでは、折り曲げると亀裂が生じた(写真17)。また、1000℃加熱では折損しなかったが、断面には粒界割れが生じていた。

##### <試料No. 2>

- ・ 折損したサンプルは無かった。

##### <試料No. 3>

- ・ 400℃60分のサンプルでは折損しやすく、断面には粒界割れが生じていた。

##### <試料No. 4>

- ・ 800℃以上のサンプルで素線が折損しやすく、断面にも粒界割れが生じていた。



写真17 電気炉800℃60分加熱サンプル(試料No. 1)

### 《還元雰囲気と折損の関係に関する検証》

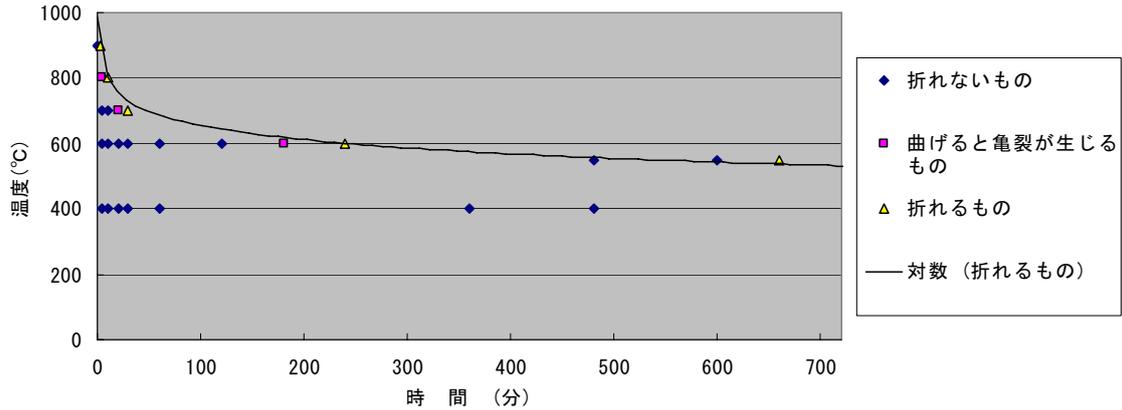
一般の電線材料に用いられるタフピッチ銅は、亜酸化銅の形で0.03~0.05%程度の酸素を含有しており、水素を含む還元雰囲気中で加熱すると水素脆性<sup>※9</sup>を生じることが知られている<sup>4)</sup>。このため、これを検証するため真空加熱炉を用いて水素ガス置換した雰囲気中で長さ50mmのNo. 1の試料を加熱し、折損が生じる加熱条件を調べた<sup>※10</sup>。

※9：(水素脆性)：水素が拡散して亜酸化銅を還元し、その際生じた水蒸気によって脆化する現象。

※10：(折損が生じるか否かの判定)：水素脆性を評価する試験方法としては、850℃の水素気中で30分加熱後、曲げR 0.2 mm、加重10gでサンプルが折損するまでの繰り返し曲げ回数を求める方法があるが、ここでは火災現場から回収する際に容易に折損する状態を想定し、他の一・二次被熱サンプル同様、加熱後サンプルの中央部をハンドリングにより1回だけ約180度に折り曲げる操作を行い、折損するか否かで判定した。

還元雰囲気下における、折損と加熱温度・時間との間には、次のグラフに示すような関係のあることがわかった。

- ・ 折り曲げた際に折損したサンプルと加熱温度と加熱時間にはグラフに示すとおり、加熱温度が高いほど短時間の加熱で折損するといった関係が見られた。
- ・ 900℃では30秒の加熱では折損しなかったが、2.5分の加熱では折損した。
- ・ 800℃では10分加熱では折損したが、5分加熱では折り曲げた際に亀裂が生じるに止まった。
- ・ 550℃では11時間で折損した。
- ・ 500℃では24時間まで加熱して折損しなかった。



No. 1 試料を水素雰囲気中で加熱したときの折損又は亀裂の発生状況

以上の検証結果から、4.5の実験サンプルとこれまでに消防機関等から持ち込まれたサンプルを比較すると、いずれも折損及び断線部分の外観及び研磨後の断面が酷似しており（写真18及び19）、こうした現象は水素脆性によって生じるものと考えられる。



写真 18 火災現場から採取された銅線の折損部(例)



写真 19 左写真のサンプルの断面

#### 《還元炎と折損の関係に関する検証》

試料No. 1について被覆を除去して800°C以上の火炎中で加熱したところ60分加熱で折損したものの、1000°Cのアルゴン雰囲気中で加熱したものについては30分加熱サンプルでも折損せず、粒界割れも観察されなかった。

以上の検証結果から、火災現場から回収された屋内配線などが容易に折損するような場合は、高温雰囲気下での還元炎<sup>※11</sup>による被熱や、被覆からの分解ガスによる水素を含んだ還元雰囲気下での高温被熱等の推定ができると考えられる。

また、(3)③の電気炉加熱では、試料No. 3においては400°C60分以上で、試料No. 4では800°C以上の加熱条件で折損又は粒界割れが生じた。酸欠状態の炉内で被覆が燻焼し、可燃性ガス中の水素が銅中の亜酸化銅と結びついたと考えられ、試料No. 2については与えた実験条件の中では水素脆性を生じなかったことから、被覆材料の違いによる耐熱又は燃焼特性の差が関係しているものと考えられる。

※11（還元炎）：ブンゼンバーナのような燃料ガスに予め空気を混ぜて燃焼させるようなガスバーナでは、ノズルから吹き出した燃料ガスを空気孔から吸い込んだ空気とあらかじめ混ぜて管口で燃焼させる。その炎は内炎と外炎とに分かれる。内炎は内側の青く輝く円錐状の炎で、水素、一酸化炭素、炭素粒（炭化水素の分解により生ずる）などを含み、還元性があるので還元炎という<sup>5)</sup>。

以上、折損、亀裂、粒界割れは、二次被熱条件でのみ認められ、一次被熱条件では認められなかった。

#### 4.6 線間溶出

##### (1) 一次被熱

<試料No. 1~4>

- ・すべての試料で線間に銅の溶出を生じたサンプルは無かった。

##### (2) 火炎曝露

- ・一次被熱サンプルではこの特徴が見られなかったことから該当なし。

##### (3) 二次被熱

###### ①クリブ炉加熱

- ・すべての試料で線間に銅の溶出を生じたサンプルは無かった。

###### ②バーナ加熱

- ・すべての試料で線間に銅の溶出を生じたサンプルは無かった。

###### ③電気炉加熱

- ・試料No. 1 では800°C20~60分加熱サンプルで（写真20）、試料No. 2 では600°C60分加熱したサンプルでは（写真21）炭化した被覆に混ざって銅が溶出した状態が見られた。
- ・試料No. 3、4で線間に銅の溶出を生じたサンプルは無かった。

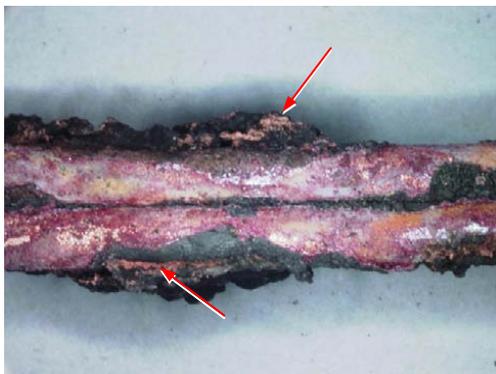


写真 20 800°C20 分加熱サンプル  
で溶出した銅 (試料No. 1)

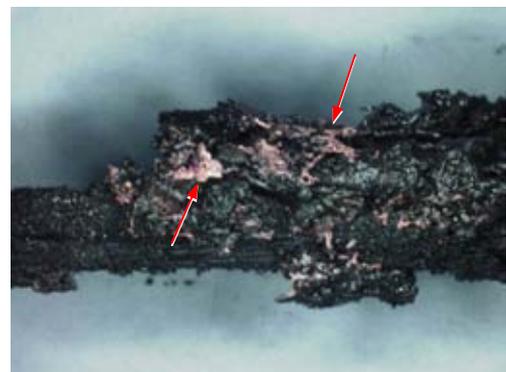


写真 21 600°C60 分加熱サンプル  
で溶出した銅 (試料No. 2)

この特徴はPVC被覆の試料においてのみ発生し、被覆素材による影響が窺われた。  
また、一次被熱及び火炎曝露サンプルではこうした特長が生じなかったことから、当該痕跡は火災中の被熱条件を推定する際に参考となる痕跡と言える。

以上、銅の線間への溶出は、PVC被覆の試料において二次被熱条件でのみ認められ、一次被熱条件では認められなかった。

#### 4.7 線間溶着

##### (1) 一次被熱

<試料No. 2~4>

- ・発火部位近傍は素線が酸化するなどしており、銅素地部分同士が溶着している様子は確認できなかった。

##### (2) 火炎曝露

- ・一次被熱サンプルではこの特徴が見られなかったことから該当なし。

##### (3) 二次被熱

###### ①クリブ炉加熱

- ・すべての試料で線間の溶着が生じていた。

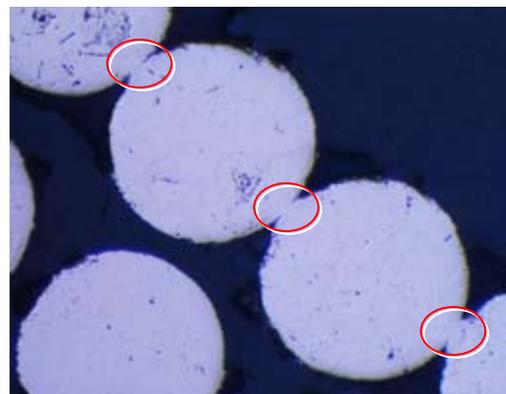


写真 22 クリブ炉加熱で生じた  
線間の溶着 (試料No. 2)

②バーナ加熱

- ・試料No. 2 では400°C10分から、No. 3 では600°C10分から、またNo. 4 では600°C20分から線同士の溶着が見られた（写真22）。

③電気炉加熱

- ・試料No. 2 では400°C10分から、No. 3 では400°C20分から、またNo. 4 では600°C10分から素線同士の溶着が見られた。
- ・また、加熱条件が強くなると、素線表面に生じた酸化層を介して溶着するものも見られたが、素線同士が溶着したのちに溶着部分が表面から酸化しているものもあった。

この特徴は一次被熱では認められず、二次被熱でも被覆の素材を問わず比較的弱い被熱条件から発生した。発火事故原因究明において重要な手がかりにはなりくい痕跡である。

以上、撚り線コードの線間の溶着は、二次被熱で比較的容易に発生し、一次被熱条件では認められなかった。

4.8 緑青

各実験サンプルにおける緑青の発生状況は概ね表5のとおり。

表5 各サンプルでの緑青の発生状態

試料No.	一次被熱後	一次被熱後火炎曝露		二次被熱後	
		1週間	1か月	1週間	1か月
1	◆ 3/3	◆ 1/3 × 2/3	■ 1/3 ◆ 2/3	■ 3/3	◎ 2/3 ▲ 1/3
2	▲ 5/6 × 1/6	▲ 4/6 × 2/6	▲ 5/6 ◆ 1/6	◎ 1/3 ▲ 2/3	◎ 3/3
3	■ 5/6 × 1/6	× 6/6	× 6/6	× 6/6	× 6/6
4	× 3/3	× 3/3	× 3/3	× 3/3	× 3/3

◆：熱劣化部以外    ■：わずか  
▲：部分的           ◎：著しく発生    ×：発生せず

(1) 一次被熱

- ・試料No. 1 では実験した3点のサンプルのいずれも一次被熱時に被覆が炭化には至っていなかったと思われる部位で緑青が発生した。
- ・試料No. 2 では6点のうち5点について断線部近傍で緑青が発生した。
- ・試料No. 3 では5点で一次被熱後に断線部近傍で僅かに緑青が発生した。
- ・試料No. 4 では緑青は見られなかった。

(2) 火炎曝露

- ・試料No. 1 の1週間後サンプルでは、3点中1点について一次被熱時に被覆が炭化には至っていなかったと思われる部位で緑青が発生したが、2点は緑青が発生しなかった。また、1か月後では、3点中1点について断線部近傍でわずかに緑青が発生したが、他の2点では一次被熱時に被覆が炭化には至っていなかったと思われる部位で緑青が発生した。
- ・試料No. 2 の1週間後では、4点で断線部近傍に部分的に緑青が発生したが、緑青が見られないものも2点あった。また、1か月後では、5点で断線部近傍に部分的に緑青が発生し、1点では一次被熱時に被覆が炭化には至っていなかったと思われる断線部から離れた部位で緑青が発生した（写真23及び24）。
- ・試料No. 3 及び4については、火炎曝露後に緑青を発生したサンプルは無かった。

(3) 二次被熱サンプル

- ・試料No. 1 では3点のいずれも加熱後1週間ではわずかに緑青が観察され、このうち2点については1か月後には著しく緑青が発生した。

- ・ 試料No. 2 では 1 点について加熱後 1 週間で著しく緑青が発生し、2 点についても部分的ながら緑青が観察された。また、1 か月後には 3 点のすべてについて著しい緑青の発生が見られた。
- ・ 試料No. 3 及び 4 については、二次被熱で緑青を発生したサンプルは無かった。



写真 23 断線部周辺の  
緑青の発生状況

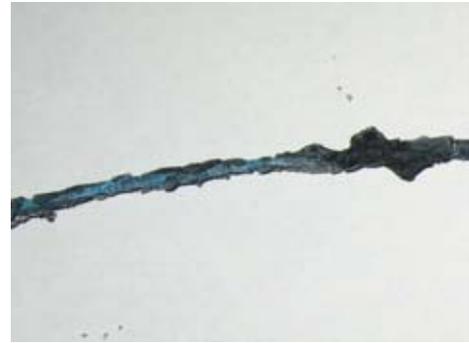


写真 24 断線部から離れた  
部位の緑青の発生状況

緑青の主成分は塩基性炭酸銅を中心とした塩基性化合物であるといわれているほか、腐食環境によっては塩基性塩化銅になることもあるといわれている<sup>9)</sup>。火炎曝露実験後に緑青を生じたのが絶縁被覆にPVCを用いたものであることから、被覆が熱分解したときに生じると考えられる塩素ガスや充填材との反応によって生じる塩化カルシウムが影響していると考えられる。

なお、被覆に塩素を持つ試料No. 3 で火炎曝露後に緑青を生じなかった理由としては、熱硬化性の被覆が加熱によって灰化したことで塩素が滞留しなかったためと考えられる。

**以上、緑青が発生するか否かについては被覆材料の種類によって異なるが、一次被熱及び二次被熱の両方で発生が認められた。**

#### 4.9 ルビー色の生成物

##### (1) 一次被熱

<試料No. 1>

- ・ 断線部の先端にルビー色の生成物を生じたサンプルがあった。

<試料No. 2>

- ・ 試料No. 2 の発火サンプルでルビー色の層を生じたものはなかった。

<試料No. 3>

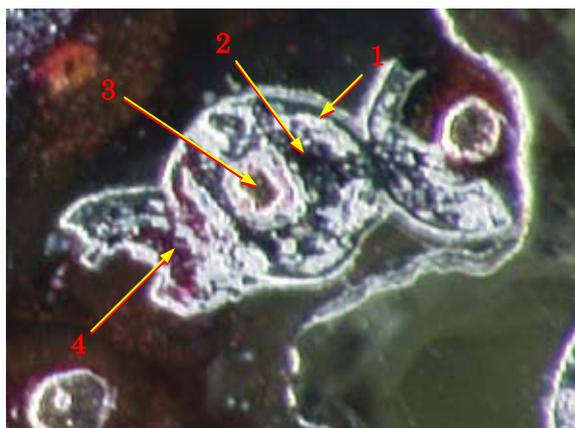
- ・ 断線部にルビー色の部分が生じたサンプルが一点のみあった。

<試料No. 4>

- ・ 断線部の先端にルビー色の生成物を生じたサンプルがあった。
- ・ 黒色層が脱落した部分からはルビー色の層が生じていた（写真25）。
- ・ ルビー色の層部分を元素分析したところ、組成はほぼ銅と酸素であった（図4）。



写真 25 断線部の素線  
(試料No. 4 : 右側は新品銅線)



分析位置	分析結果	
	O	Cu
1	23.4	76.6
2	14.7	85.3
3		100.0
4	14.8	85.3

分析位置はそれぞれ

1：黒色層の最外周部分

2：その内側部分

3：心線が残存している部分

4：断面の実体顕微鏡観察でガラス光沢のルビー色に見えるのが確認できた部分

図4 試料No. 4の異常発熱サンプル断線部近傍の断面における元素分析位置及び結果表

## (2) 火炎曝露

### <試料No. 1>

- ・火炎曝露後も特徴は残存した。
- ・一次被熱の際に生じたと思われる部分以外には見られなかった(写真26)。

### <試料No. 2>

- ・一次被熱でルビー色の生成物が見られなかったことから、該当なし。

### <試料No. 3>

- ・一次被熱時でルビー色の生成物が生じていないサンプルを火炎曝露したが、一次被熱時の発熱部位から離れた部位にルビー色の層の生じたものがあった。

### <試料No. 4>

- ・火炎曝露によって外側からは確認できなくなったものの、断線部を破壊して内部を観察したところルビー色の生成物が見られた(写真27)。
- ・一次被熱時の発熱部位から離れた部位にルビー色の層の生じたものがあった。



写真 26 火炎曝露後サンプルに見られたルビー色の生成物(試料No. 1)



写真 27 断線部内部に残存したルビー色の生成物(試料No.4)

## (3) 二次被熱

### ①クリブ炉加熱

- ・試料No. 1及び2では見られなかったが、試料No. 3及び4ではルビー色の生成物が生じた。

### ②バーナ加熱

- ・全試料についてバーナ加熱ではルビー色の生成物を生じたものは無かった。

### ③電気炉加熱

#### <試料No. 1>

- ・800°C20分加熱でルビー色の生成物を生じたが、一次被熱で見られたものとは発生状況が異なっていた。

<試料No. 2>

- ・ 800°C20分以上の加熱条件で粒状のルビー色生成物が見られた。

<試料No. 3>

- ・ 800°C20分以上の加熱条件では部分的にルビー色の生成物が生じた。
- ・ 800°C30分及び60分加熱では表面のざらついた生成物が生じた。
- ・ 1000°C20分以上では層状の生成物が生じた。

<試料No. 4>

- ・ 600°C30分加熱サンプルで一次被熱で見られたものとは発生状況が異なる表面のざらついた生成物が生じた。
- ・ 800°C10分以上では一次被熱で生じたものと似た層状の生成物が生じた。

4.3及び4.4の銅化合物の項で記したとおり、この特徴を生じた部位からはほぼ銅と酸素が検出されており、外観の特徴から亜酸化銅と考えられる。

試料No. 1で断線部に見られたこの特徴は火災曝露後のサンプルでも残存し容易に焼失することは無いと考えられる一方で、試料No.3及び4では一次被熱の段階で被覆が熱の影響をほとんど受けていないような部位でも火災曝露後のサンプルではこの特徴が発生していることを考慮すると、一次被熱の特徴と位置付けるのは難しい。

なお、試料No. 1について、参考までに被覆を取り除いた状態で電気炉加熱したところ、800°C10分以上の加熱条件でルビー色の生成物が層状に発生した（写真28）。



写真 28 被覆を除去して電気炉加熱した試料No. 1 (800°C 10分)

**以上、試料No. 1の断線部に生じたルビー色の生成物は火災曝露後も残存したが、試料No. 3及び4では一次被熱後の火災曝露によってこの特徴が生じたほか、クリブ炉加熱でも生じることがあった。**

## 5. まとめ

解析の結果及び一般住宅での小・中規模火災で考えられる被熱条件を考慮するとおおむね以下のとおりなる。

- ① 「線径減少」は異常発熱を反映したものであった。
- ② 異常発熱では「表面荒れ」「心線表面又は素線間銅化合物」も見られた。
- ③ ①②の痕跡は、火災炎に曝されても容易には消失しないもので、火災被熱条件では特殊条件でないと生じない<sup>※8</sup>と考えられた。
- ④ 「緑青」は異常発熱及び火災被熱条件の両方で発生した。
- ⑤ 「折損」は火災被熱条件のみで認められ、異常発熱では認められなかった。
- ⑥ その他の線間溶出、線間溶着、ルビー色の生成物などの特徴については火災時の被熱状況を推定する際の着眼点になりうる。

## <参考文献等>

- 1) 日本火災学会: 火災便覧第3版, 1997
- 2) 菊地光一、河村鴻允、能登文敏: 地絡電流によるFケーブルの発火モードの検討, 火災誌 Vol. 31 No.3, 1981
- 3) 芦沢清美、小俣 桂: 差込プラグの熱劣化による発火メカニズムについて, 平成9年度研究発表会概要集, 日本火災学会, 1997
- 4) 日本伸銅協会: 銅および銅合金の基礎と工業技術 (改訂版), 1991
- 5) 長倉ら: 岩波理化学辞典, 岩波書店, 第5版 2001
- 6) 仲田進一: 銅のおはなし, 日本規格協会, 1992



**電線の一・二次被熱条件別サンプル集**

2009年2月発行

編集 独立行政法人製品評価技術基盤機構北関東支所  
〒376-0042  
群馬県桐生市堤町3-7-4  
TEL 0277-22-5471  
FAX 0277-43-5063

発行 独立行政法人製品評価技術基盤機構  
〒151-0066  
東京都渋谷区西原2-49-10  
TEL 03-3481-1921  
FAX 03-3481-1920

**無断転載禁止**



電線の一・二次被熱条件別サンプル集