

東京理科大学「火災安全科学研究拠点」

■ 研究成果概要報告書

| | | | |
|--|----|---------------------|----------------|
| 研究課題 | | ケーブル火災時の燃焼特性の相対比較評価 | 実施年度 平成24年度 |
| 研究代表者 | 所属 | 一般社団法人電線総合技術センター | |
| | 氏名 | 玉井 富士夫 | |
| 1. 研究の背景および目的 <p>現在、日本国内の建造物においては、ケーブルの火災危険性を考慮し、電気設備の技術上の基準、電気用品安全法、建築基準法、消防法等の法規及び業界基準に規定された、難燃特性を持つケーブルが選定され、布設されている。しかしながら、現状においては、建造物内に布設されたケーブルが火災等により燃焼した場合、どのような燃焼挙動を示し、どのような火災危険性を脅かすかは十分に解明されておらず、さらに火災時の死亡原因の主たるものの一つである燃焼放出ガスの毒性に関しては、検討中の段階である。</p> <p>そこで、現在一般社団法人日本電線工業会(以下 JCMA)にて、火災時における建造物内に収容された人員が避難することのできる時間を推定するためのガイドである ISO 13571(火災における生命危機に関わる成分-火災データを用いた避難可能時間推定のためのガイド)の手法に基づき、国内に流通している代表的なケーブルが燃焼した際の燃焼生成ガスの毒性も含めた火災危険性を CFD シミュレーションを用いて推定することにより、ケーブルの種類による火災危険性の相対比較を実施することを目的とする検討をしている。</p> <p>本研究は、ケーブルの火災危険性評価を実施するための CFD シミュレーションへの、小規模試験である ISO5659-2 試験装置による発煙性のデータ及び同装置に付加された FTIR による燃焼生成ガス定量データの適用の可能性を大規模試験の結果と比較することにより検討すること、及び大規模試験では考慮していない火災初期段階における各ケーブルの燃焼特性を把握することを目的とする。</p> | | | |

2. 研究成果および考察（申請時の計画に対する達成度合いも含む）

2.1 実験方法

国内で一般的に使用されるケーブルについて燃焼特性を把握するために、次の 4 種類のケーブルについてそれぞれのケーブルのシース材料及び絶縁材料に対して ISO 5659-2 に規定された燃焼試験を実施し各材料の発煙特性を評価するとともに燃焼によって生成したガスを FTIR で分析し燃焼ガスの生成特性の評価を実施した。また得られた特性データを実規模ケーブル燃焼試験の結果と比較し相関性の検証を行った。

1) 600V 架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル(600V CV)

絶縁体材料：架橋ポリエチレン(以下、XLPE)

シース材料：ポリ塩化ビニル(以下、PVC)

2) 600V 架橋ポリエチレン絶縁耐燃性ポリエチレンシースケーブル(600V CE/F)

絶縁体材料：XLPE

シース材料：耐燃性ポリエチレン(以下、耐燃性 PE)

3) 600V 架橋ポリエチレン絶縁高難燃ポリオレフィンシースケーブル(600V NH CE)

絶縁体材料：XLPE

シース材料：高難燃ポリオレフィン(以下、高難燃 PO)

4) 600V 架橋ポリエチレン絶縁高難燃ビニルシースケーブル(F-CV)

絶縁体材料：XLPE

シース材料：高難燃ポリ塩化ビニル(以下、高難燃 PVC)

なお、昨年度実施は、試験片サイズを試験規格に規定されたサイズ(75mm×75mm)で実験を実施したが、このサイズによる試験では多量に燃焼放出物が生成し、生成物によっては FTIR の測定限界を超える濃度となるケースがあったことから、本年度は試験片サイズを 40mm×40mm とした。ただしこのサイズでも測定限界を超える生成物がある試験片の場合は更に小さなサイズの試験片を使用した。

2.2 燃焼ガス生成特性

1) CO, CO₂ 生成量

CO の収量に関しては、着火を伴わない場合、オレフィン系材料からの収量が、PVC 材料からの収量を上回っている。また、オレフィン系材料に関しては、難燃性の低い樹脂材料程多くなる傾向が見られる。着火を伴う場合は、高難燃化した材料((高難燃 PO、高難燃 PVC))からの収量が多い。

CO₂ の収量に関し、各材料とも着火することによって燃焼が進むに従い CO₂ の生成量が増える。但し、PVC 系の樹脂からの生成量はオレフィン系樹脂からの生成量を下回っている。これは主にベース樹脂単位重量当たりの炭素数がオレフィン系樹脂に対して少ないことに起因するものと考えられる。また、高難燃化された樹脂に関し、高難燃化されていない樹脂と比較して生成量が少ない。これは難燃剤の効果による不完全燃焼の影響によるもの

のと考えられる。

2)HCl 生成量

PVC からの HCl 生成に関し、加熱条件の違いによる影響は少ない。また材料の違いによる影響に関してもそれほど大きなものではない。

3) ホルムアルデヒド(CH₂O)及びアクロレイン(C₃H₄O)生成量

特にアクロレインに関して、PVC 及び高難燃 PVC を除くオレフィン系の材料において着火を伴わない場合に比較的多く生成している。耐燃性 PE 及び XLPE に関しては、試験片に着火した場合は殆ど生成が見られないことから、これらのガスはオレフィン系樹脂の熱分解段階で比較的多く発生するものと言える。

4) 各加熱条件における各被覆材料の毒性ガス生成特性相対比較

試験結果を元に ISO13571 に基づき算出した FED 及び FEC 値を表 1 に示す。また、各加熱条件における各ケーブル被覆材料に関する材料試験の結果を基にした相対比較を a) 及び b) に示す。

但し、これらの比較は、各ケーブル被覆材料が、各加熱条件において、潜在的にどの程度の毒性ガスを生成するかを示す単位重量当たりの各ガスの収量によるものであるため、実際の火災環境における危険性を評価する上で重要なファクターとなる各ガスの最大生成速度及び最大生成速度に達する時間は、考慮されていないことに注意する必要がある。

表 1 各加熱条件における各試料の FED 及び FEC

| | 25kW/m ² 口火無 | | 50kW/m ² 口火有 | |
|---------|-------------------------|------|-------------------------|------|
| | FED | FEC | FED | FEC |
| PVC | 0.04 | 0.71 | 0.06 | 0.44 |
| 耐燃性 PE | 0.10 | 2.88 | 0.03 | 0.02 |
| 高難燃 PO | 0.06 | 5.05 | 0.07 | 0.03 |
| 高難燃 PVC | 0.03 | 0.56 | 0.15 | 0.66 |
| XLPE | 0.13 | 6.89 | 0.04 | 0.14 |

注 1) FED は ISO5659-2 試験チャンバ内で 10 分間燃焼ガスに暴露したと仮定した場合の値

注 2) FEC は試験チャンバ内における 10 分後の値

a) 入射熱流束 25kW/ m² 口火無

この条件下では、耐燃性 PE、高難燃 PO 及び XLPE から窒息性ガスである CO 及び刺激性ガスであるアクロレイン並びにホルムアルデヒドの生成が比較的多く見られた。PVC 系の材料からの CO の生成量はオレフィン系材料と比較して低いが、CO₂ 及び HCl が生成する。

しかし、ISO13571 に示された刺激性ガスに関する F 値(人員の避難行動に重大に影響すると想定される各ガスの濃度)が、HCl は 1000µl/l であるのに対し、ホルムアルデヒドは 250µl/l、アクロレインは 30µl/l である。ISO13571 において、ホルムアルデヒド及びアクロレインはそれぞれ HCl の約 5 倍及び約 30 倍程度の刺激性を持つとされ、これらの材料の FEC の値は PVC 系材料のものと比較して非常に高い値となる。ホルムアルデヒド及びアクロレインを生成するオレフィン系の材料はこの加熱条件下において、

PVC系材料よりも燃焼生成ガスの刺激性がかなり高くなる。

b) 入射熱流束 50kW/ m² 口火有

COは不完全燃焼が起こりやすい高難燃化した材料(高難燃 PO、高難燃 PVC)からの生成が多く見られる。CO₂に関しては、オレフィン系材料からの生成が PVC 材料からの生成を上回る。この加熱条件においては、オレフィン系材料からもホルムアルデヒド及びアクロレインの生成は見られなかった。PVC 系の材料からは HCl の生成が見られるため、FEC の値はオレフィン系の材料と比較して非常に高い値となっている。また、高難燃 PVC からは毒性の強い HCN が生成していることから、FED の値が他の材料と比較して大幅に高い値となっている。この加熱条件において、耐燃性 PE 及び XLPE からの燃焼生成ガスの毒性が低いと言える。高難燃 PO からアクロレインの生成が見られないことから、次いで高難燃 PO からの燃焼生成ガスの毒性が低いと言える。

c) 試験片のサイズの影響

本年度の検討では、試験規格に規定された試験片サイズよりも小サイズの試験片を用いて実験を実施したが、試験片のサイズを縮小した場合でも FTIR による生成ガスの分析が十分可能であることを確認した。また、標準サイズで試験を実施した場合、燃焼残渣が比較的多く燃焼によるガス生成特性と残渣の熱分解によるガス生成特性が混在した結果となってしまう、特定の加熱条件による材料の燃焼のガス生成特性を把握することが困難であったが、縮小サイズの試験片を用いた場合、加熱源であるヒータからの熱放射が試験片に均一に伝わり、試験片の燃焼が均一となることから加熱条件毎のガス生成特性を把握しやすい。従って、この試験方法を用いて、材料の潜在的ガス生成特性としてデータを取得することを目的とする場合は、試験片が均一に加熱され、熱分解挙動及び燃焼挙動を良く分離できる縮小サイズの試験片を用いるのが望ましいと考える。

2.3 発煙特性

25kW/ m² 口火無の条件においては各試験片とも着火しなかったことから、この加熱条件による発煙特性は各材料の熱分解によるものとなる。また、50kW/m² 口火有の加熱条件においては各試験片とも着火していることから、この加熱条件による発煙特性は各材料着火後の燃焼によるものとなる。

熱分解時における単位重量当たり生成する煙量の指標である煙収量の値は高難燃 PVC の値が他の材料と比較して低くなっている。しかし、総発煙量の指標である D_s 値については高難燃 PO の値が 200 を下回っており、他の材料と比較して低い値となっている。高難燃 PO の場合は難燃材等の充填剤を多く含み、加熱によって分解する樹脂量が他の材料と比較して少ないことから、収量の値が大きくとも、トータルの発煙量は低くなるといえる。一方、燃焼時において、オレフィン系樹脂の発煙量は熱分解時と比較して少なくなり、PVC 系樹脂の発煙量は熱分解時と比較して多くなる傾向が見られる。充填剤が添加されていない XLPE を除けば、全ての材料において重量減少率は熱分解時と比較して増加しているが、

オレフィン系材料については発煙量が減少していることから、これらの材料は燃焼することによって発煙量が低くなるものといえる。但し、難燃剤が多量に添加されていると考えられる高難燃 PO は熱分解時と比較して耐燃性 PE や XLPE ほどの発煙量の低減はみられない。これは難燃剤の効果による不完全燃焼の影響と考えられる。PVC 系の材料は熱分解時と比較して収量にそれほどの変化は見られないことから、発煙量は熱分解及び燃焼によって消費される樹脂量に依存するものと言える。

2.4 材料試験と製品試験との比較

火災安全性評価において CFD 等の数値解析の用いるデータとして、実際の火災を模擬した実大規模の火災実験で得られたデータを用いるのが適切であるとされている。しかし、大規模な実験はコスト、時間ともに大きな負担となる。そこで、研究室レベルでの実験である ISO5659-2 等の小規模試験で取得したデータの適用の可能性を検討する。

昨年度ある程度 EN50399 の試験結果との相関性が確認された ISO5659-2 による 50kW/m² 材料試験結果の比較を表 2 に示す。ここでは各シース材料の収量に絶縁材料の収量を各ケーブルのシース材料と絶縁材料の重量比を考慮して加えた結果、ケーブル製品を試験体とする EN 50399 大規模試験の結果、及び異なる試験方法間での試料の燃焼状態を比較する指標の一つとして用いられる CO₂/CO 比を示す。また、ISO5659-2 では取得することができない発熱特性に関し、各材料の生成熱に関してコーンカロリメータによって得られた材料試験の結果、及び EN50399 によるデータの比較を表 3 に示す。なおコーンカロリメータでの測定はサイズ 100mm×100mm×1mm^t の試験片を用い、入射熱流束 50kW/m² にて着火源としてスパークプラグを用いて実施した。

これらの結果から、CO、CO₂ 及び HCN の収量及び燃焼熱に関し、両試験方法間で比較的近い値が得られているのが分かる。また、両者間で CO₂/CO 比に大きな違いが見られないことから、両試験における試料の燃焼状態が近いものであったことが分かる。しかし、HCl 及び発煙量に関し、両者の結果に大きな差が見られる。これは HCl 及び煙の試験チャンバ等への凝集または付着等の影響と考えられる。このため、小規模試験におけるこれらのデータの相関性はガス及び煙の凝集及び付着の影響を考慮して検討する必要がある。

2.5 まとめ

上記検討結果より、本研究で用いた ISO5659-2+FTIR 試験により、現在一般的に使用されているケーブルの燃焼特性のうち、燃焼生成ガス及び発煙性に関して複数の火災ステージにおける特性を取得しその特性から各ステージにおける各ケーブルが火災危険性に寄与する度合いの比較が可能であることを確認した。また、火災危険性評価に使用することが望ましいとされる大規模試験の一つである EN50399 試験の結果と ISO5659-2 における 50kW/m² 口火有の加熱条件下での試験結果にある程度の相関が見られることから、ISO5659-2 における試験結果を CFD 等を用いた火災危険性評価に適用できる可能性がある

ことを確認した。但し、燃焼生成物のうち周辺の物体に凝集、付着してしまうものについてはこれらの影響を考慮する必要がある。また、ISO5659-2 試験装置を用いて材料の潜在的ガス生成特性としてデータを取得することを目的とする場合、試験片が均一に加熱され熱分解挙動及び燃焼挙動を良く分離できる縮小サイズの試験片を用いるのが望ましいと考える。

その他昨年度問題となった FTIR 分析の際にみられた発生しえないガスの検出等の異常値の検出については、本年度も同様の傾向が見られたものの、本年度は核分析における時間毎のスペクトラムを取得していたことから、このスペクトラムを解析することによって異常と思われる値の原因がある程度把握できることを確認した。

表 2 ISO5659-2 による材料試験と EN50399 製品試験との比較(収量 : g/g)

| | CV | | CE/F | | NHCE | | F-CV | |
|-----------------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | ISO5659-2 | EN50399 | ISO5659-2 | EN50399 | ISO5659-2 | EN50399 | ISO5659-2 | EN50399 |
| CO | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.02 | 0.08 | 0.05 | 0.10 | 0.13 |
| CO ₂ | 2.24 | 1.08 | 2.91 | 1.42 | 2.41 | 1.53 | 1.76 | 1.63 |
| HCl | 0.20 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.24 | 0.03 |
| Formaldehyde | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Acrolein | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| HCN | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| Smoke | 0.14 | 0.05 | 0.07 | 0.01 | 0.13 | 0.06 | 0.12 | 0.05 |
| CO ₂ /CO 比 | 47.07 | 21.60 | 89.11 | 71.00 | 30.32 | 30.60 | 17.10 | 12.54 |

表 3 コーンカロリメータによる材料試験と EN50399 製品試験の比較(生成熱 : MJ/g)

| | CV | | CE/F | | NHCE | | F-CV | |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | ISO5660 | EN50399 | ISO5660 | EN50399 | ISO5660 | EN50399 | ISO5660 | EN50399 |
| Heat of combustion | 0.021 | 0.017 | 0.037 | 0.038 | 0.032 | 0.032 | 0.021 | 0.022 |

以上

※スペースが足りない場合はページを増やしても構いません。

3. 経費の使用状況

| 消耗品費・会議費・印刷費等 | | 旅 費 | | 人 件 費 | |
|--------------------|--------|----------|--------|-------|--------|
| 事 項 | 金額(千円) | 事 項 | 金額(千円) | 事 項 | 金額(千円) |
| FTIR用PTFEフイルタ | 61 | 事前打合せ交通費 | 57 | | |
| FTIR用PTFEフイルタ、ゼロガス | 102 | 実験交通費 | 79 | | |
| | | 共同研究者宿泊費 | 25 | | |
| 計 | 163 | 計 | 161 | 計 | |

4. 今後の展望（今後の発展性、見込み等についても記述）

近年の建築設計の多様化、高度情報化等に伴い、建造物内に布設されるケーブルの種類
の多様化やケーブル布設量の増大など建造物内におけるケーブルの布設環境が大幅に変化
しており、防火という観点において、現在一般的に使用されるケーブルが全てのケーブル
布設環境に対して適切とは言えない状況になってきている。防火の観点から特定の環境に
布設されるケーブルの適切性を評価するための手法として、CFDを使用した、火災危険性
評価は、有効な手段の一つと言えるが、CFDに使用するデータに小規模試験のデータを使用
することは、評価効率の向上及び評価コストの低減につながる。

今後大規模試験とのデータの整合性、得られたデータの妥当性及びCFDへの適用方法等
をより詳細に検討することにより、本研究で用いたISO5659-2による試験結果を用いたあ
る程度の妥当性を有するCFDシミュレーションが実施できるものと思われる。またCFD
を用いた火災危険性評価結果に基づいたケーブルの難燃性能要求基準及び適合性を評価す
るための試験方法及び試験結果を用いた適合性判定手法等の検討が可能であると考え

5. 成果の公表状況（学会への発表，学術誌への投稿等を記述。予定も含む）

1. 公表予定

- 1) Fire & Materials conference (2015 年)

※上記5に記載された成果公表については，別刷1部を研究事務課まで提出願います。PDFファイル等の電子データでも構いません。

※本成果報告概要書に記載された内容は，本拠点の成果報告として Web 等で公開されることをお含み置き下さい。

※本成果報告概要書と併せて，研究報告書を提出頂いても構いません。（フォーマットは問いません。）

※後日開催予定の成果講評会で使用されるプレゼンテーション用の電子ファイルについても提出願います。（学内での報告に使用）