

**煙の危険性を広報することに  
焦点を置いた研究**

**辻本研究室**

**5106049 鈴木智子**

## 目次と各項

### 第1章 はじめに

- 1-1 研究背景 . . . . . 4
- 1-2 研究目的 . . . . . 4

### 第2章 煙の危険性

- 2-1 煙による死亡者数 . . . . . 5
- 2-2 煙の危険性 . . . . . 5
  - 2-2-1 視界への影響 . . . . . 5
  - 2-2-2 ガスの毒性 . . . . . 5

### 第3章 脚本の制作過程

- 3-1 ゼミ資料 . . . . . 6
- 3-2 脚本 . . . . . 10

### 第4章 天然素材・合成素材の燃える物の違いをコーンカロリーで調べる 実験

- 4-1 実験計画 . . . . . 17
- 4-2 実験概要 . . . . . 17
- 4-3 実験結果 . . . . . 20
  - 4-3-1 実験Ⅲ (30kw/m<sup>2</sup>のとき) . . . . . 20
  - 4-3-2 実験Ⅲ (50kw/m<sup>2</sup>のとき) . . . . . 23
  - 4-3-3 実験Ⅳ (30kw/m<sup>2</sup>のとき) . . . . . 26
  - 4-3-4 実験Ⅳ (50kw/m<sup>2</sup>のとき) . . . . . 29
  - 4-3-5 実験Ⅴ (30kw/m<sup>2</sup>のとき) . . . . . 32
  - 4-3-6 実験Ⅴ (50kw/m<sup>2</sup>のとき) . . . . . 35
- 4-4 考察 . . . . . 38

### 第5章 区画内燃焼実験

- 5-1 実験計画 . . . . . 39
- 5-2 実験概要 . . . . . 39
- 5-3 実験結果 . . . . . 41
- 5-4 考察 . . . . . 42

### 第6章 視界実験

- 6-1 実験計画 . . . . . 43
- 6-2 実験概要 . . . . . 43
- 6-3 実験結果 . . . . . 47
  - 6-3-1 実験Ⅰ . . . . . 47

6-3-2 実験Ⅱ	48
6-4 考察	49
<b>第7章 東京理科大学神楽坂校舎5号館での避難訓練における煙実験</b>	
7-1 実験計画	50
7-2 実験概要	50
7-3 実験結果	51
7-3-1 歩いている様子	51
7-3-2 体験を終えた直後の感想	52
7-4 考察	53
<b>第8章 まとめと今後の課題</b>	<b>54</b>
<b>参考文献</b>	<b>55</b>
<b>謝辞</b>	<b>56</b>

## 第1章 はじめに

### 1-1 研究目的

本研究では煙の恐ろしさを一般の人々にもわかりやすく伝え、煙だけでなく火災に対する防災意識を高めることを目的にビデオを作成しその過程で収集した煙の危険性、煙流動実験およびビデオの作成過程をまとめた。

### 1-2 研究背景

火災時の煙は火災で一番危険で恐ろしいという意見もある。実際に様々な世代の知人6人にアンケートを取ったところ、以下のような回答が得られた。

\* 火災で発生する煙についてどう思いますか？

→ 二酸化炭素が怖い・黒い煙が怖い・恐怖・目が痛い感じ・そんなに危険と思わない

\* 火災で起こる炎についてどう思いますか？

→ 火柱を見ると鳥肌が立つ・恐怖感・高温で熱そう

\* 実際にあなた自身が火災にあったときに、炎と煙はどちらが怖いと思いますか？

→ 煙が1 炎が4 両方1

\* 実際にあなた自身が火災にあったとき、煙から身を守るためにどんな行動をしますか？

→ ・ 低い姿勢になる

・ パニックになりどんな行動に出るかわかりませんがしゃがみ行動を取る

・ 低い体勢（ほふく前進）

・ ぬれたタオルで口をふさいで地面を這う

・ 身を低くして鼻を布でふさぐ

\* 実際にあなた自身が火災にあったとき、炎から身を守るためにどんな行動をしますか？

→ ・ 防災のカーテンを体に巻いて出口を探す

・ 衣類で体を覆う

・ 頭から水をかぶる

この結果より、一般の人々は煙について知らないことが多いと考えられる。このように誤った防災意識を持ってしまうと、実際に火災に遭遇した時に避難することに必死で煙から身を守ることを怠ってしまう可能性がある。こうした間違いを正すために、煙の危険性や具体的な実験をわかりやすく視聴者に伝わるようにビデオを制作した。

## 第2章 煙の危険性

### 2-1 煙による死亡者数

消防白書より、近年（平成16年～平成20年）の火災による死因別死者発生状況の推移を表わした。

表-1：火災による死因別死者発生状況の推移<sup>1)</sup>

■ 第1-1-9表 火災による死因別死者発生状況の推移

年別	区分							(人、%)
		一酸化炭素 中毒・窒息	火傷	打撲・骨折等	自殺	その他	不明	総計
平成16年		589 (29.4)	590 (29.4)	9 (0.4)	624 (31.1)	53 (2.6)	139 (6.9)	2,004
平成17年		674 (30.7)	671 (30.6)	1 (0.0)	636 (29.0)	64 (2.9)	149 (6.8)	2,195
平成18年		626 (30.3)	687 (33.2)	2 (0.1)	592 (28.6)	57 (2.8)	103 (5.0)	2,067
平成19年		613 (30.6)	650 (32.4)	5 (0.2)	575 (28.7)	50 (2.5)	112 (5.6)	2,005
平成20年		610 (31.0)	628 (31.9)	5 (0.3)	535 (27.2)	47 (2.4)	144 (7.3)	1,969

(備考) 1 「火災報告」により作成  
2 ( ) 内は構成比を示す。

この表から、一酸化炭素中毒・窒息による死亡者数は平成17年に一気に増加して以来、年々微量に減ってはいるものの、火傷と同じように死者数の多くの割合を占めている事がわかる。

### 2-2 煙の危険性

#### 2-2-1 視界への影響

まずは視覚情報を奪うということである。視界の悪化は、煙中の炭素などの粒子の集団によって引き起こされる。特に合成樹脂など、炭素を多く含むものが燃えると黒色の煙が発生するため、その量が増すと、ますます視界が遮られてしまう。また、新聞紙や木材などのセルロース系の燃焼はアルデヒドを、塩化ビニルは塩化水素などを含む煙を発生させ、これらが涙に溶けて粘膜を刺激するため、著しく視界を悪化させてしまう。

#### 2-2-2 ガスの毒性

煙には燃焼や熱分解による、ガス(二酸化炭素、一酸化炭素、シアン化水素、塩化水素、炭化水素ガスなど)が含まれている。これらのガスの中で最も気をつけなければならないのは一酸化炭素による中毒である。これは血液中のヘモグロビンと結合し、体内の酸素供給能力を妨げることで起こる。すると頭痛や吐き気、意識障害を引き起こしてしまう。一酸化炭素自体には色やニオイがないため、煙に含まれる煤などが少ないと、無意識のうちに吸い込んでしまうという意味でも、大変危険である。一般的に一酸化炭素濃度が0.5～1%、吸入時間1～2分で呼吸障害や死亡に至る<sup>2)</sup>。この一酸化炭素中毒で亡くなるケースは非常に多い。

## 第3章脚本の制作過程

### 3-1 ゼミ資料

脚本ができあがるまでの過程をわかりやすく説明するために、4月から9月までに行ったゼミでの資料を抜粋し、まとめた。

\*2009年4月28日より

① 煙について知りたいことを先週のゼミ中にみなさんから出た意見をまとめます。

[みんなの意見]

- ・煙と火を比べると、どちらのほうが危険か
- ・火災時の煙の流れる速さはどれくらいか
- ・火災で起こる煙は危険なものそうでない安全なものがあるか
- ・建物が煙を排出するためにどのような工夫がされているか
- ・火災時の煙の中の視界はどのようになっているか
- ・人間はどれくらい煙を吸うと死に至るのか
- ・火災時に煙から逃げるルートはどのようなものがあるか
- ・火災時にその場で煙を浄化することはできるのか

[私の意見]

- ・煙の性質と温度には関係性があるのか
- ・火災が起きても煙が出にくい部屋のインテリアはあるのか
- ・火災時に煙の中で目立つ色はあるのか

このゼミ資料は、煙についてのビデオを制作するにあたり、他の辻本研究室の方から煙について知りたいことを聞いてまとめたものに自分の意見を足した。これが脚本の大元となった。

\*2009年5月12日より

① どんなビデオにするか？

- |            |   |            |
|------------|---|------------|
| ・火災と煙      | → | ・煙の恐ろしさを知る |
| ・煙とどう付き合うか |   | ・煙の性質を知る   |

② 題名案

- ・火災と煙～煙で死なないために～

- ・煙に気をつける！
- ・煙から命を守る
- ・煙の危険性を知る

③ 脚本の大まかな流れ

1 煙の性質・・・煙とは（定義）、どうして煙の色が白色か黒色か



2 安全か危険か・・・火災で起こる煙は危険なものそうでない安全なものがあるか、  
煙と火とどっちが危険か



3 危険さが招く災い・・・CO中毒について、どれくらい煙を吸うと死にいたるのか、  
夏と冬の問題



4 どうやって身を守るか・・・避難計画

このゼミ資料は、4月28日の意見を参考にし、一通りの流れを考えたものである。

\*5月26日より

煙流動のビデオ作成について

30分のビデオなので、15分をめぐりに前半・後半に分けて考えてみました。

**前半**

- ・煙とは何か（煙の定義など）
- ・煙はどうして白か黒なのか
- ・煙の熱
- ・夏と冬の問題
- ・危険さが招く災い

★前半では、煙はどういうものかを十分に理解してもらおう15分にします★

**後半**

- ・天然素材と合成樹脂それぞれから発生する煙の問題
- ・避難計画（まとめ）

★後半では、もっと具体的に実験の例を出し、煙から身を守るにはどうしたらいいのかを  
理解してもらおう15分にします★

このビデオで何を伝えたいのか？

→煙の危険性（恐ろしさ）

- ・ここを理解してもらい、実際火災などに出くわしたときに身を守ってもらいたい。

#### 【煙の定義について】

煙とは、不完全燃焼という、火災時に炎が家具などのものに加えられる熱の温度が低かったり、一定しない酸欠状態が発生することで炭素の燃え方が不十分な状態になったことで発生した煤や一酸化炭素や有毒ガスなどをまとめて指しているものです。

#### 【危険さが招く災いについて】

おおきくわけてふたつ

- ① 視覚情報を奪う
- ② 毒性があること

① 煙による見通しの障害は、煙中の炭素などの粒子の集団が引き起こします。特に合成樹脂など、炭素を多く含むものがたくさん燃える濃い黒色の煙が発生するため、ますます視界が遮られてしまいます。それに加えて、セルロース系（新聞紙や木材）の燃焼はアルデヒドを、塩化ビニルは塩化水素などを含む煙を発生させ、これらが涙に溶けて粘膜を刺激するため、著しく視界を低下させてしまいます。

② 一酸化炭素中毒とは、血液中のヘモグロビンと結合し、体内の酸素供給能力を妨げることで起こります。すると頭痛や吐き気、意識障害などが起こります。一酸化炭素自体には色やニオイがないため、煙に含まれる煤などが少ないと、無意識のうちに吸い込んでしまうという意味でも、大変危険です。一般的に一酸化炭素濃度が0.5～1%、吸入時間1～2分で呼吸障害や死亡に至ります。

#### 【うさぎ実験のまとめ】

小林先生の論文より、“天然素材と合成樹脂の毒性の問題”について。

#### （実験内容）

天然素材だけを置いた部屋（実験1）と合成樹脂だけを置いた部屋（実験2）を用意し、それぞれを燃焼させ、その際に発生する燃焼生成物を採取して分析したり、ラビットに吸入させ反応をみるという実験です。

#### （火災盛期の煙の性質と毒素指数の比較）

《実験1》

CO 10.24 HCN 1.52 アクロレイン 0.53 HCl 0.24 ホルムアルデヒド 0

《実験2》

CO 12.8 HCN 7.23 アクロレイン 4.9 HCl 0.44 ホルムアルデヒド 0.32

★気づき★

- ・ CO の変化はあまりない。
- ・ CO 以外の毒素指数の数値の差が大きく違う。
- ・ 実験 1 にはない、ホルムアルデヒドが実験 2 では発生している。

(うさぎの反応)

実験 1 → 約 110 分で心肺停止

実験 2 → 約 40 前後で心肺停止

ここから、毒性の強い実験 2 がいかに早い時間で毒性の強い煙を発生し、ラビットの体内に回っていくのかがわかる。

(この実験から言えること)

いかに科学製品の多様をすることで濃い煙が発生し（合成樹脂には炭素が多く含まれるから）、視界も遮られることから逃げ遅れて死亡するケースが増えてしまうことが予測できる。これをふまえ、なるべく天然素材を利用した家に暮らすことが大切であることがわかる。

このゼミ資料は、もっと具体的に内容を詰めた。特にこの中に出てくる“うさぎ実験”というものは、完成された内容の中にある『区画内燃焼実験（第 4 章）、合成素材・天然素材についての実験（第 5 章）』を行うきっかけとなった実験である。

\*2009 年 9 月 18 日より

\*ビデオの流れ

なぜ煙は白色か黒色なのか

↓

煙とは何か？（煙の定義）

↓

煙の有毒性の問題

↓

天然材料と合成樹脂の実験

↓

階段上部の開閉の煙の速度の実験

↓

避難について

↓

排煙設備の説明



予防（まとめ）

このゼミ資料は、今の形に近い内容になっている。これらのゼミ資料をもとに制作会社であるノンプロダクションの菅原さんと辻本教授、松山教授との打ち合わせによって台本を作り上げた。最終的な流れは以下のようになっている。

- \* 煙の定義・危険性について
- \* 合成素材・天然素材についての実験
- \* 区画内燃焼実験
- \* 過去の実験から煙の有毒性を示す
- \* 視界実験 撮影の様子
- \* 煙突効果実験
- \* 排煙設備について
- \* まとめ

### 3-2 脚本

ここでは私が作成した脚本を載せる。これをもとにビデオの台本をノンプロダクションさんが作成した。

脚本

* カラースモークボールが焚かれている様子	N (ナレーター) 今画面に映し出されている煙をご覧ください。色々な色をしていますね。この煙は・・・でできています。しかし、このような煙は実際の火災では発生しません。
* 実際の火災の映像	このように、火災では白と黒の煙しか見られません。なぜこの二色なのでしょう？煙の定義もふまえて説明しましょう。
* 定義の要約を出す	煙とは燃焼によって発生し、可燃物が燃えた時に見える煤や水滴の細かい粒子や火災で発生する一酸化炭素などの有毒ガスが混ざったものです。ここではこれらを一緒にして煙とします。
* わかりやすい図を出す	このように主に煙は炭素の粒と水滴でできているので、その内炭素の粒の割合が多いと黒色の煙になり、水滴の割合が多

	<p>いと白色になります。したがって煙は白と黒の二色にわけられるのです。さて、このビデオでは煙とはどういうものか、また煙とどう付き合っていくかを詳しく説明していこうと思います。</p>
<p>* 室内で煙が充満している様子</p>	<p>次に、煙が人体に及ぼす影響についてお話していこうと思います。まずは視覚情報を奪うということです。煙による見通しの阻害は、煙中の炭素などの粒子の集団が引き起こします。特に合成樹脂など、炭素を多く含むものがたくさん燃えると濃い黒色の煙が発生するため、ますます視界が遮られてしまいます。</p>
<p>* 目の絵を出す</p>	<p>それに加えて、新聞紙や木材などのセルロース系の燃焼はアルデヒドを、塩化ビニルは塩化水素などを含む煙を発生させ、これらが涙に溶けて粘膜を刺激するため、著しく視界を低下させてしまいます。</p>
<p>* 説明の要約を出す</p>	<p>次は一酸化炭素中毒です。この中毒は血液中のヘモグロビンと結合し、体内の酸素供給能力を妨げることで起こります。すると頭痛や吐き気、意識障害などが起こります。一酸化炭素自体には色やニオイがないため、煙に含まれる煤などが少ないと、無意識のうちに吸い込んでしまうという意味でも、大変危険です。一般的に一酸化炭素濃度が0.5～1%、吸入時間1～2分で呼吸障害や死亡に至ります。この一酸化炭素中毒で亡くなるケースはとても多いので、一番気をつけなければなりません。</p>
<p>* うさぎ実験の当時の映像</p>	<p>ここまで煙の性質をよく理解していただけただけでしょうか？ ここで煙に関する二つの実験を見てもらいます。</p> <p>まず一つ目の実験です。今ご覧いただいているように、この実験は耐火構造二階建ての建物の実験1、実験2の二部屋を使い、ほぼ同一の条件をもつ両部屋において、内部の家具</p>

	<p>などの積載可燃物を実験1はほぼ天然素材のものとし、実験2はできるだけ合成樹脂などの化学製品を用いたものとして、別々に火がくすぶっているような炎をあげないで燃えていく燃焼過程である燻焼状態から徐々に火災を発生させてデータをとったものです。</p>
<p>*データの表を出す</p>	<p>次に、このデータをご覧ください。火災盛期の一酸化炭素の変化はあまりありませんが、その他の有毒な気体の数値の差が大きく違うことがわかります。この数値は毒性指数といって、ガス濃度と致死量濃度の比です。また、実験1にはない、ホルムアルデヒドが実験2では発生していることも読み取れます。さらに実験1と2を比較すると、実験2から煙が発生する時間も実験1に比べると早いことから、もし実験2のような条件の室内で火災が起こると実験1のような家よりも早く有毒な煙が発生することが予測できます。</p>
<p>*キャラクターなどが 出て喋るか燃え盛る映像を流す</p>	<p>このように、この実験から言えることはいかに化学製品のものを多用することで、合成樹脂には炭素が多く含まれるので、黒く濃い煙が発生し視界も遮られることから逃げ遅れて死亡するケースが増えてしまうことが予測できます。これをふまえてなるべく天然素材を利用した家に暮らすことが大切であることがわかります。</p>
<p>*当時の写真や新聞記事など出す</p>	<p style="text-align: center;">—————階段室上部の開閉の煙の速度の実験—————</p> <p>先ほど説明した一酸化炭素中毒など火災で発生する有毒ガスによる死亡事故は火傷と同じくらいの割合で起こり、同時に死亡原因の多くを占めます。</p> <p>私たちの記憶に新しいのは2001年9月1日新宿歌舞伎町で起こった雑居ビル火災では死亡した44人全員が急性一酸化中毒で死亡したことや2008年10月1日大阪・難波の個室ビデオ店で起こった火災では男性客15人が一酸化炭素中毒や気道熱傷などで死亡したというニュースはテレビなど各メディアに取り上げられました。</p>

<p>*わかりやすい図を出す</p>	<p>では、いざ自分自身が火災に遭遇したとき、どうやって煙から回避し、命を守れるのかをこれから学んでいこうと思います。</p> <p>火災が発生すると、煙は建物の中を熱気流と一緒に動きます。またその影響で煙の温度はあたたかくなるので、空気よりも軽くなり天井にあがります。よって煙の温度が低くなると空気より重くなるので、煙が下へ下がる前にくぐって逃げるのが大切です。</p> <p>また、煙には浮力があるため、階段やエレベーターなど高いところに通じる空間があると、そこから上昇しようとします。垂直方向へは毎秒約3～5メートルという速いスピードで流れますので、火災階より上にいる場合は、一刻も早く火災階より下へ避難をしないと危険です。</p> <p>これらの煙の性質をまとめると、次の3つの避難時における心得が言えます。</p>
<p>*①、②、③の言葉を出す</p>	<p>①姿勢を低くして、口にタオルや衣服を当てて逃げる。 →これは避難中に煙を吸わないようにして逃げるためです。</p> <p>②出火室のドアや窓はできるだけ閉めて逃げる。 →これは新鮮空気の供給を少なくし燃え方を遅くするとともに、隣室や廊下への延焼や煙の拡散を防ぐために役立ちます。</p> <p>③避難にエレベーターを使うことは危険。 →エレベーターは煙が侵入したり、途中で止まってしまうことがあるので危険です。</p> <p>これらをしっかり覚えて避難時に備えておきましょう。</p>
<p>*避難の様子や消防隊の活動の絵や写真を出す</p>	<p>このような避難をスムーズに行うには先ほど述べたことはもちろん大切なのですが、もうひとつ避難をする上で忘れてはならないことがあります。それは“煙制御”です。</p>

<p>* 図を出す</p>	<p>煙制御とは、避難経路が煙で汚染されるのを防ぎ、在館者の避難や消防隊による消火救助活動に支障をきたさないようにするというものです。</p> <p>煙制御には大きく分けて3つの考えがあります。それは、排煙・区画化・畜煙です。</p> <p>まず排煙とは煙を空間から外部へ排出することにより、煙の降下や拡散を防止し、また煙濃度の低下を図るものです。この排煙の方式は、自然排煙と機械排煙に分けることができます。</p>
<p>* 自然排煙の写真もしくは図を出す</p>	<p>自然排煙は空間上部に排煙口を設け、温度の高い煙の浮力を利用して、煙を建物外部へ排出する方法です。</p>
<p>* 機械排煙の写真もしくは図を出す</p>	<p>機械排煙は、排煙機を用いたシステムであり、排煙機・排煙口・排煙ダクト・防火ダンパーなどで構成されます。排煙機の作動とともに空間上部に設置した排煙口を開放し、煙を建物外部へ排出する方法です。</p>
<p>* 防煙たれ壁の写真もしくは図を出す</p>	<p>次に区画化とは、空間を防煙性能のある壁や防煙たれ壁で区画することにより、煙の拡散や侵入を防止するものです。</p> <p>今区画化の説明に出てきた“防煙たれ壁”というのは、天井下面に沿った煙の拡散を一定範囲にとどめるだけでなく、排煙設備が併設される場合、その排煙効率を高める役割も担っています。さらには煙感知器の作動をより確実にする効果もあります。</p>
<p>* 畜煙の図を出す</p>	<p>最後は畜煙です。これは空間容積が極めて大きく、天井が十分に高い場合などに、積極的に煙降下防止対策を行わず、空間の上部に煙をためるだけで、避難者に支障のない状態を作り出すものです。機械設備が必要ないものですが、大空間にしか適用できないという欠点もあります。</p>

	<p>これらはなかなか見つけにくい設備ではありますが、命を守る上で重要な役割を果たしているのです。まさに縁の下の力持ち的存在であります。</p> <p>これまで煙についての多くのことを知っていただけたと思います。その学習したことを活かしてもらうために、最後に火災時に役立つ防煙グッズや住宅用火災報知機の説明をしようと思います。</p> <p>まずは防煙グッズから。</p> <p>これはガーディマスクといって、一酸化炭素はもちろん、シアン化水素や塩化水素、ホルムアルデヒドなど10種類以上の有毒ガスに対して効力があります。</p> <p>これは煙ガードといって、ビルやマンションの高層階から避難する場合、下階で火災が発生すると、上階の避難者は煙にまかれてしまいます。そんな煙の脅威から身を護り、視覚と酸素を確保する装備です。 見た目は地味ですが、原始的でありながら確実に安価な手段です</p> <p>次は住宅用火災報知機です。</p> <p>煙を早く察知するには、設置が義務化された住宅用火災報知機を部屋に設置することが大事です。住宅用火災報知器は、電池を電源としているので配線工事なども必要なく、利用者が部屋の天井や壁などにネジで止めるなどして簡単に設置できます。</p> <p>有効な設置場所は、寝室や居間などよく利用する部屋、また寝室に近い廊下や階段の天井などです。なぜ寝室の近くののかというと、就寝時に別室で火災が起こったことがわ</p>
* ガーディマスクの写真など	
* 煙ガードの写真など	
* 住宅用火災報知機や小型消火器を映したり、わかりやすい絵を出す	

<p>*キャラクターなどが 出て喋る</p>	<p>かるかがポイントであり、そこで煙を早く察知して初期消火できそうなら住宅専用の小型消火器で消火し、できそうになれば早く避難することが大切です。</p> <p>いかがでしたか？これまでの説明や実験結果によって煙について少しでも理解していただけたでしょうか？火災は我々の生活の中でとても身近に存在します。そして煙は火災で一番恐ろしいといわれています。もしあなたが火災と遭遇したとき、このビデオの内容を思い出してください。ひとつでもたくさんの命が救われる日が訪れることを願いながら終わりにしたいとおもいます。ありがとうございました！</p>
----------------------------	---

## 第4章天然素材・合成素材の燃える物の違いをコーンカロリーで調べる実験

### 4-1 実験計画

2009年11月18日、東京理科大学野田キャンパスにある火災科学研究センター実験棟でコーンカロリーメーターを使用して合成素材（ポリエステル：実験Ⅲ）天然素材（綿：実験Ⅳ）、それぞれの発熱量・発熱速度・一酸化炭素濃度・煙濃度を計測し、それぞれ値の違いを調べることを目的とする。

### 4-2 実験概要

小さな平板状に切り出した材料に一定レベルの放射熱( $30\text{kw/m}^2$ と $50\text{kw/m}^2$ )を与えながら、電気スパークを点火源として燃焼させるもので、経時的な燃焼発熱速度の変化と燃焼開始から終了までの総発熱量を求めることができる<sup>3)</sup>コーンカロリーメーターを用いて実験を行った。



図-1：コーンカロリーメーター

**実験Ⅲ試験体**：成分がポリエステル100%の $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ の布を6枚( $30\text{kw/m}^2$ : $10.73\text{g}$ 、 $50\text{kw/m}^2$ :質量 $10.02\text{g}$ )重ねて試験体ホルダーに取り付けた。



図-2：ポリエステル100%の布

**実験Ⅳ試験体**：成分が綿 100%の 10mm×10mm の布を 5 枚 (30kw/m<sup>2</sup>:9.98g、50kw/m<sup>2</sup>:  
質量 10.02g) 重ねて試験体ホルダーに取り付けた。



**図-3：綿 100%の布**

**実験Ⅵ試験体**：成分がウール 100%の 10mm×10mm の布を 5 枚 (30kw/m<sup>2</sup>:10.50g、  
50kw/m<sup>2</sup>:質量 10.43g) 重ねて試験体ホルダーに取り付けた。



**図-4：ウール 100%の布**



**図-5：実験中の様子**

また、この実験で計測した煙濃度は以下で説明する減光係数によって表し、各素材の最高値で見通し距離を出すことにする。

#### 4-2-1 減光係数と行動

減光係数・・・煙の中での見透し量に関する光学的濃度。建築防火上の煙対策を議論する場合には、煙による見透しの程度を表現する減光係数によって煙濃度を表わすことが多い。

減光係数は、Smoke Concentration の意味から、 $C_s$  という記号で表わされるが、Lambert-Beer の法則を利用して、次式のような関係が導かれる。

$$I = I_0 \cdot \exp(-C_s L) \quad (2,1)$$

ここに、 $I_0$ : 煙のないときの光の強さ(lux)、 $I$ : 煙のあるときの光の強さ(lux)、 $L$ : 光が通過する煙層の厚さ(m)、 $C_s$ : 減光係数(1/m)、したがって、減光係数  $C_s$  は、式(2,1)から次のように定義できる。

$$C_s = 1/L \cdot \log_e(I_0/I) \quad (2,2)$$

減光係数( $C_s$ )の単位は  $1/m (=m^2/m^3)$  であり、単位面積あたりに含まれる煙による光の吸収断面積、すなわち減光の大きさという意味が含まれている。煙層がない透明な空気であれば減光はなく  $C_s=0$  となり、煙層があればその濃さが大きくなるにつれて  $C_s$  は大きくなっていく。<sup>4)</sup>

表-2 減光係数表<sup>5)</sup>

減光係数	見通し距離	状況下の影響等
0. 1	20～30m	うっすらと煙が漂う程度の煙の濃度、煙感知器はこの程度の濃度で作動する。心理的な面が影響し、建物に不案内な人は、この程度で避難に支障が出る。
0. 3	5m	建物に熟知している人が避難するときに支障を感じる濃度。
0. 5	3m	薄暗い感じがするときの濃度。この濃度では手探り状態の行動となる。
1. 0	1～2m	この濃度ではほとんど前方は視認できない。
1 0	数十cm	最盛期の火災階の煙の濃度、暗闇状態でほとんど何も視認できない。誘導灯も見えない。
3 0	—————	火点室から煙が噴出しているときの煙の濃度。

### 4-3 実験結果

#### 4-3-1 実験Ⅲ (30kw/m<sup>2</sup>のとき)

発熱速度・総発熱量・一酸化炭素濃度は以下のグラフのようになった。

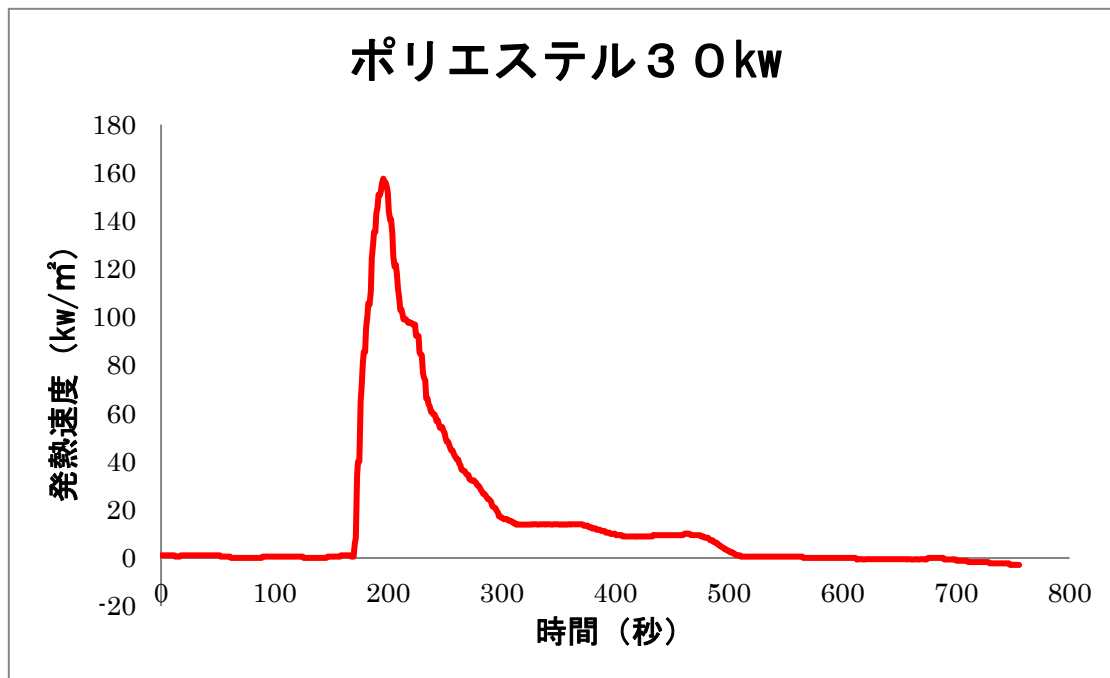


図-6 : ポリエステル 30kw の発熱速度

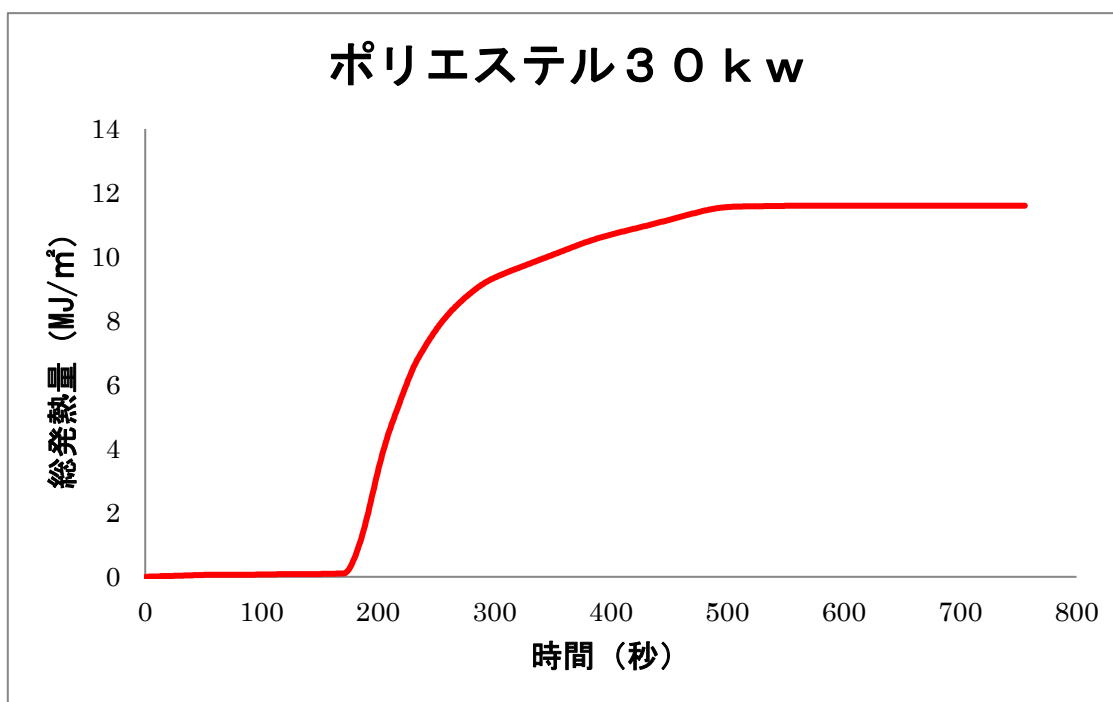


図-7 : ポリエステル 30kw の総発熱量

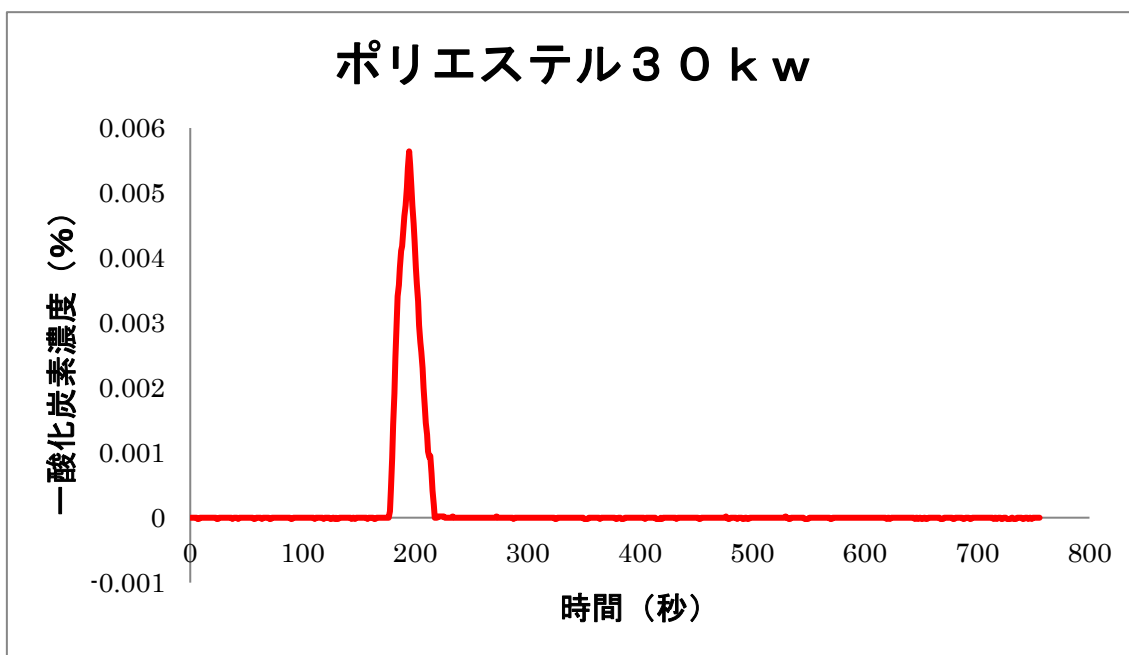


図-8 : ポリエステル 30kw の一酸化炭素濃度

データは以下のようになった。

最大発熱速度	195.60 秒のとき 157.57W/m <sup>2</sup>
平均発熱速度	24.38 kW/m <sup>2</sup>
最終試験体質量	4.29 g
試験体質量減少	6.44 g
消炎時間	450.6 秒
燃焼時間	286.4 秒
平均一酸化炭素収率	0.00575 kg/kg

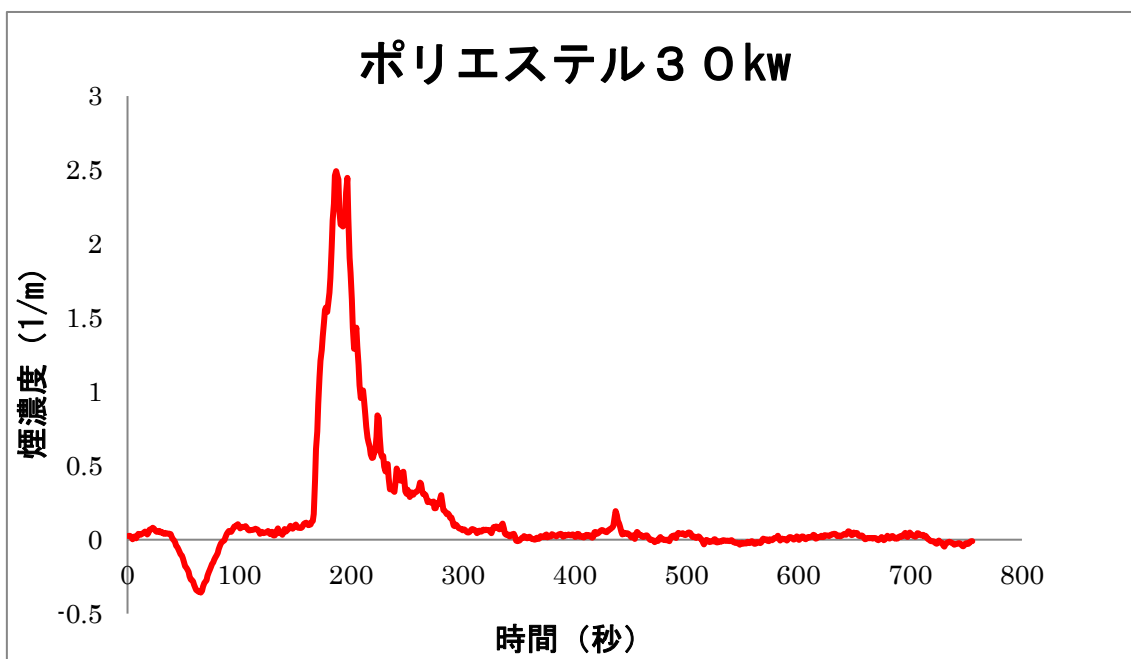


図-9 : ポリエステル 30kw の煙濃度

このとき最大値は 186.6 秒のとき 2.49(1/m)である。この値で表より見通し距離を出すと、約 1～2 m以下と予想できる。この濃度だとほとんど前方は視認できないことがわかる。



図-10 : 実験後の試験体の様子

#### 4-3-2 実験Ⅲ (50kw/m<sup>2</sup>のとき)

発熱速度・総発熱量・一酸化炭素濃度は以下のグラフのようになった。

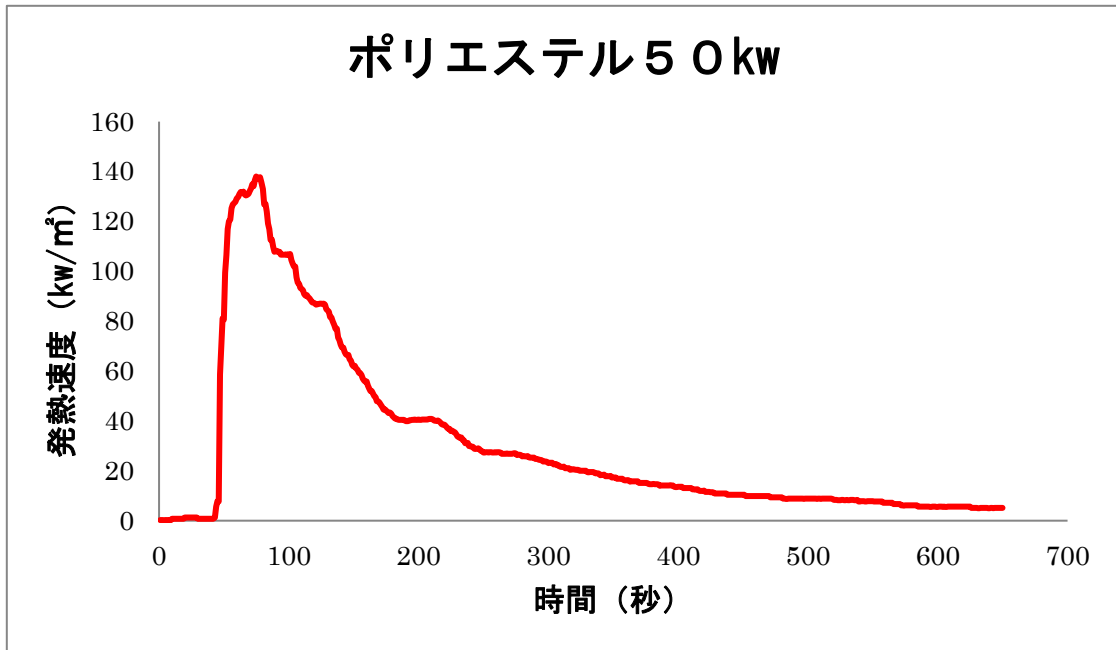


図-11 ポリエステル 50kw の発熱速度

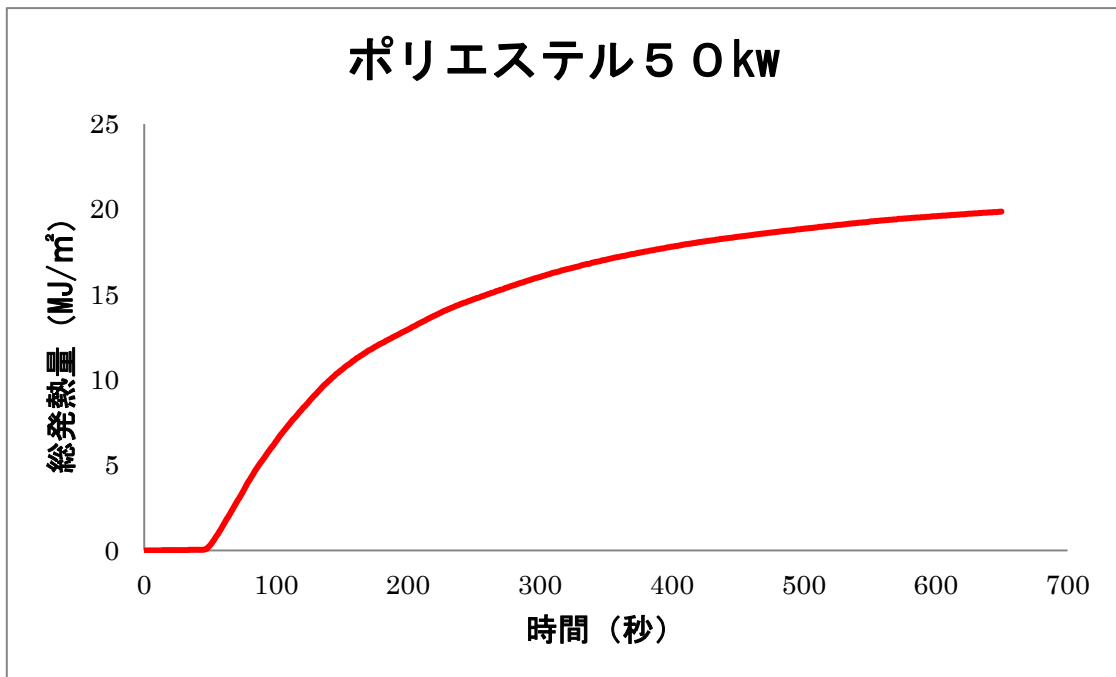


図-12 ポリエステル 50kw の総発熱量

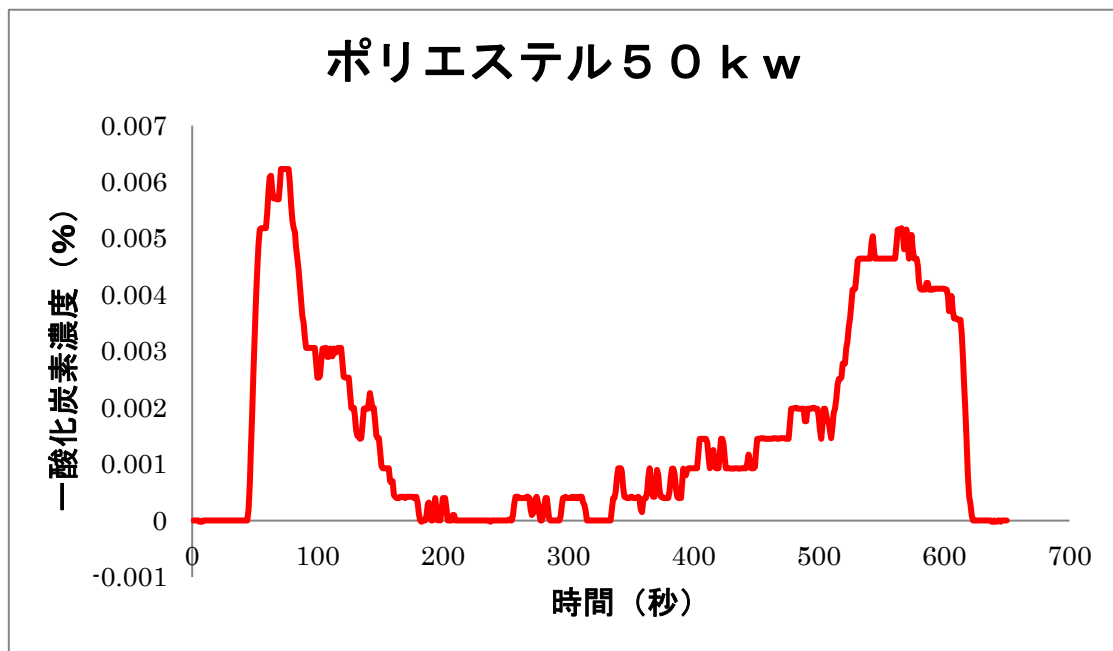


図-13 ポリエステル 50kw の一酸化炭素濃度

データは以下ようになった。

最大発熱速度	74.90 秒のとき 137.99 kW/m <sup>2</sup>
平均発熱速度	34.79 kW/m <sup>2</sup>
最終試験体質量	1.38 g
試験体質量減少	9.47 g
消炎時間	517.9 秒
燃焼時間	475.4 秒
平均一酸化炭素収率	0.01163 kg/kg

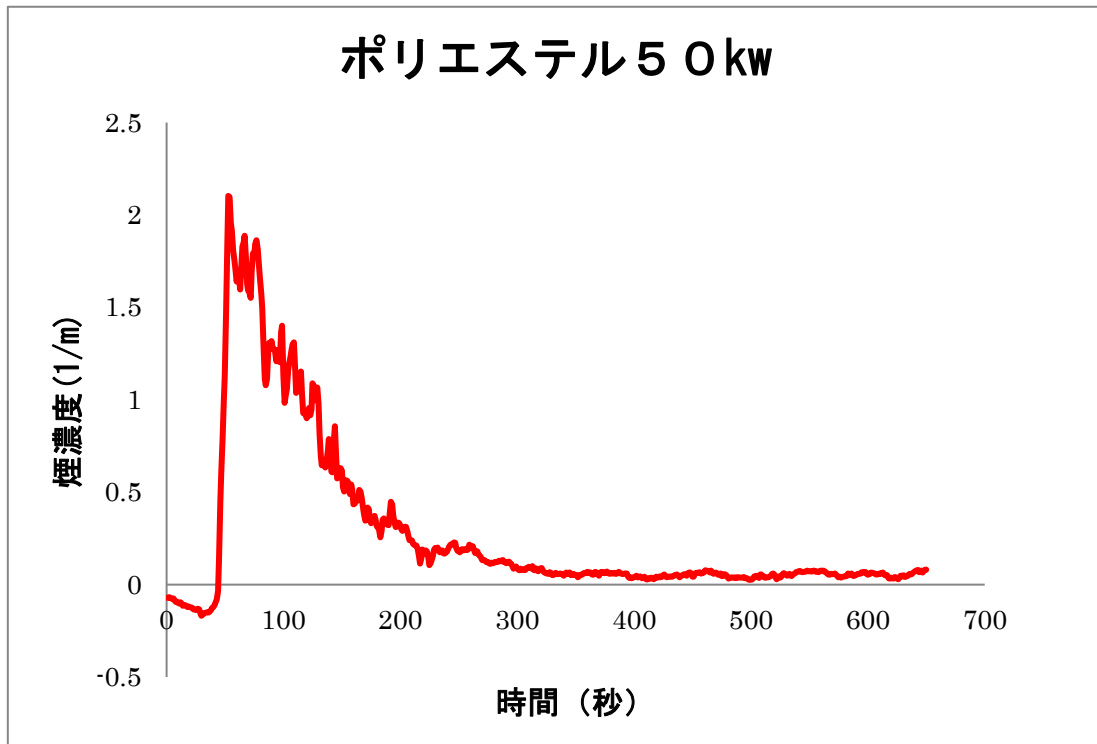


図-14 ポリエステル 50kw の煙濃度

このとき最大値は 52.9 秒のとき 2.10(1/m)である。この値で表より見通し距離を出すと、約 1～2 m以下と予想できる。この濃度だとほとんど前方は視認できないことがわかる。30kw/m<sup>2</sup> のときよりも微妙に濃度は低い、最大値の発生がはるかに速いことがわかった。



図-15 : 実験後の試験体の様子

#### 4-3-3 実験Ⅳ (30kw/m<sup>2</sup> のとき)

発熱速度・総発熱量・一酸化炭素濃度は以下のグラフのようになった。

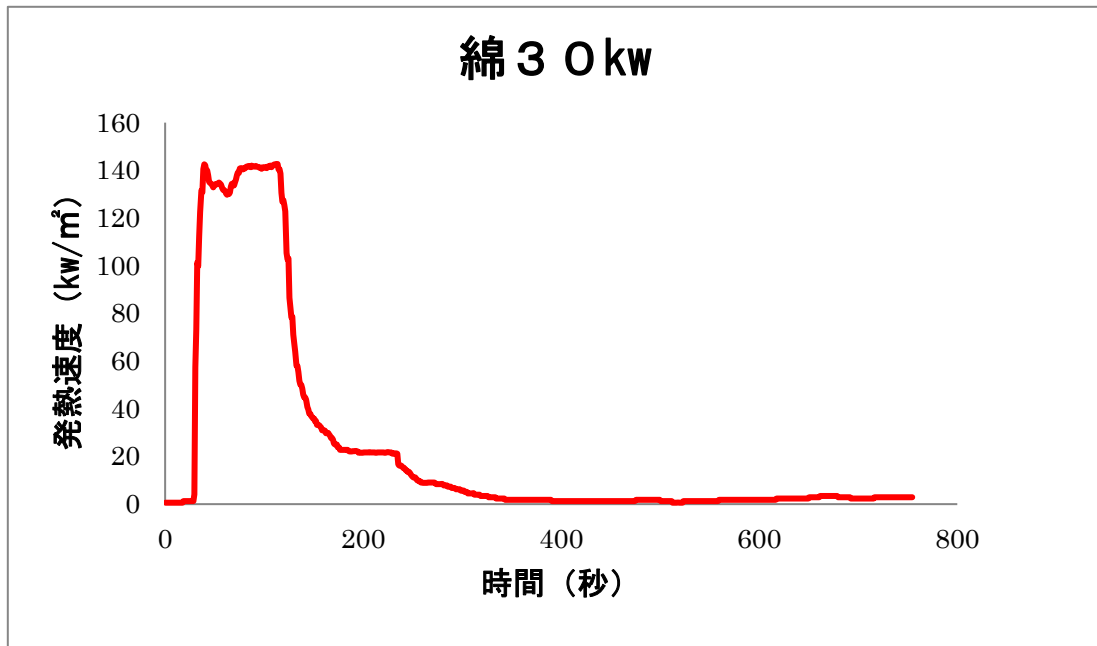


図-16 : 綿 30kw の発熱速度

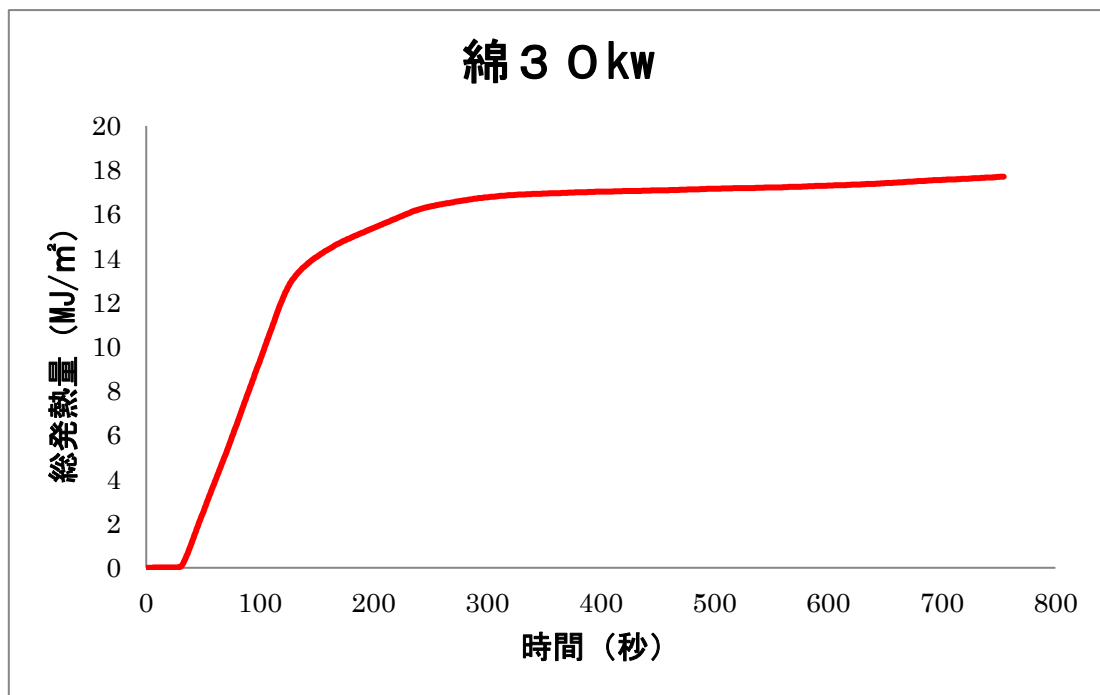


図-17 : 綿 30kw の総発熱量

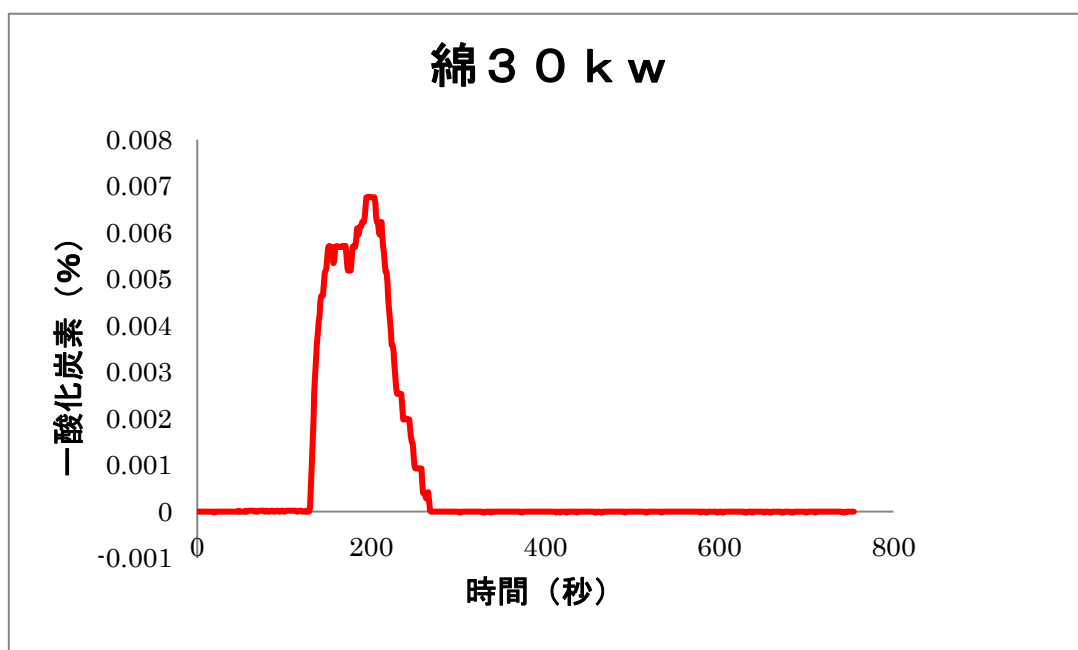


図-18：綿 30kw の一酸化炭素濃度

データは以下のようになった。

最大発熱速度	113.50 秒のとき 142.64 kW/m <sup>2</sup>
平均発熱速度	28.66 kW/m <sup>2</sup>
最終試験体質量	0.00 g
試験体質量減少	9.98 g
消炎時間	163.5 秒
燃焼時間	133.4 秒
平均一酸化炭素収率	0.00016 kg/kg

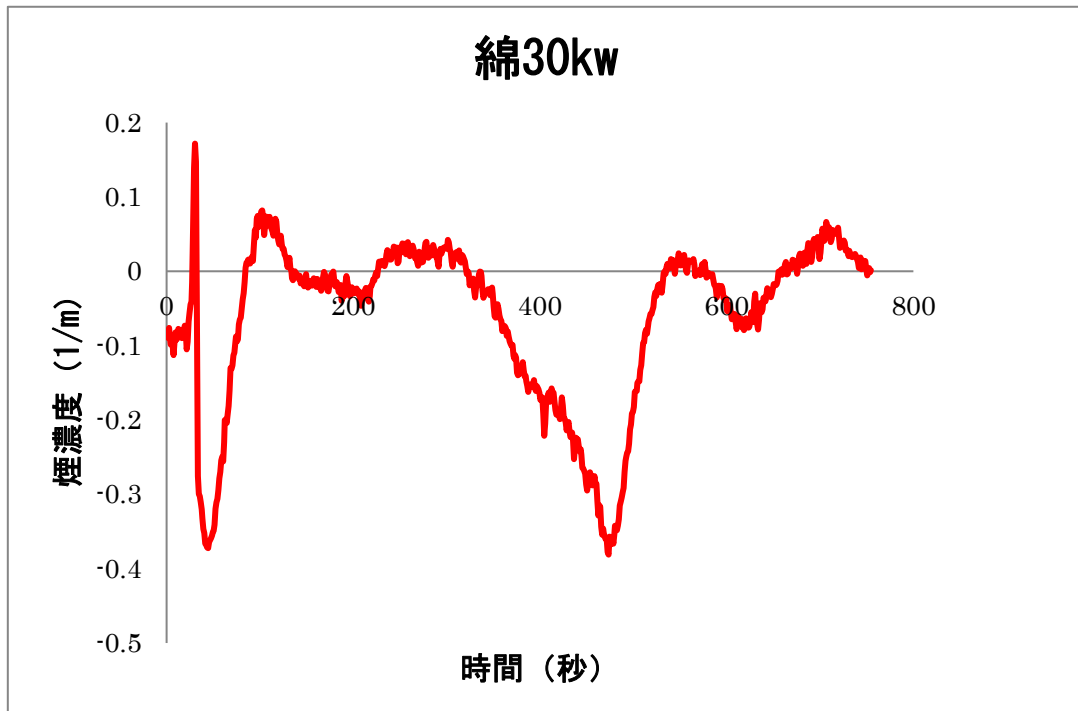


図-19 : 綿 30kw の煙濃度

このとき最大値は 30.5 秒のとき 0.17(1/m)である。この値で表より見通し距離を出すと、20～30mと予想できる。この濃度だと心理的な面が影響し、建物に不案内な人は、この程度で避難に支障が出るのがわかる。



図-20：実験後の試験体の様子

4-3-4 実験Ⅳ (50kw/m<sup>2</sup> のとき)

発熱速度・総発熱量・一酸化炭素濃度は以下のグラフのようになった。

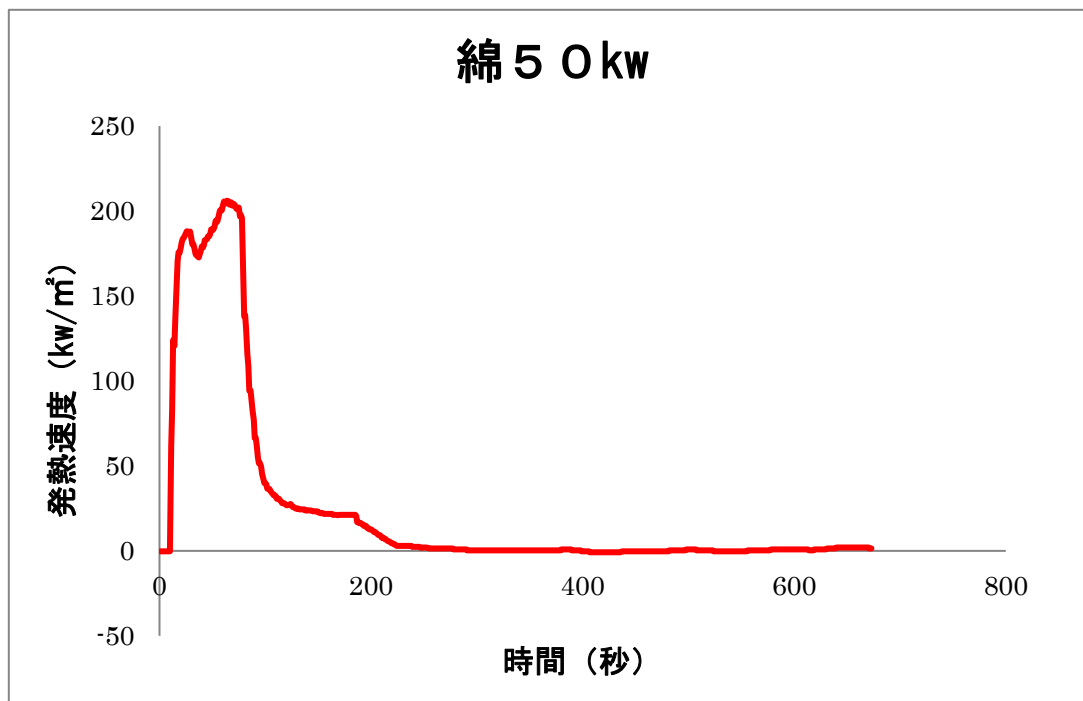


図-21：綿 50kw の発熱速度

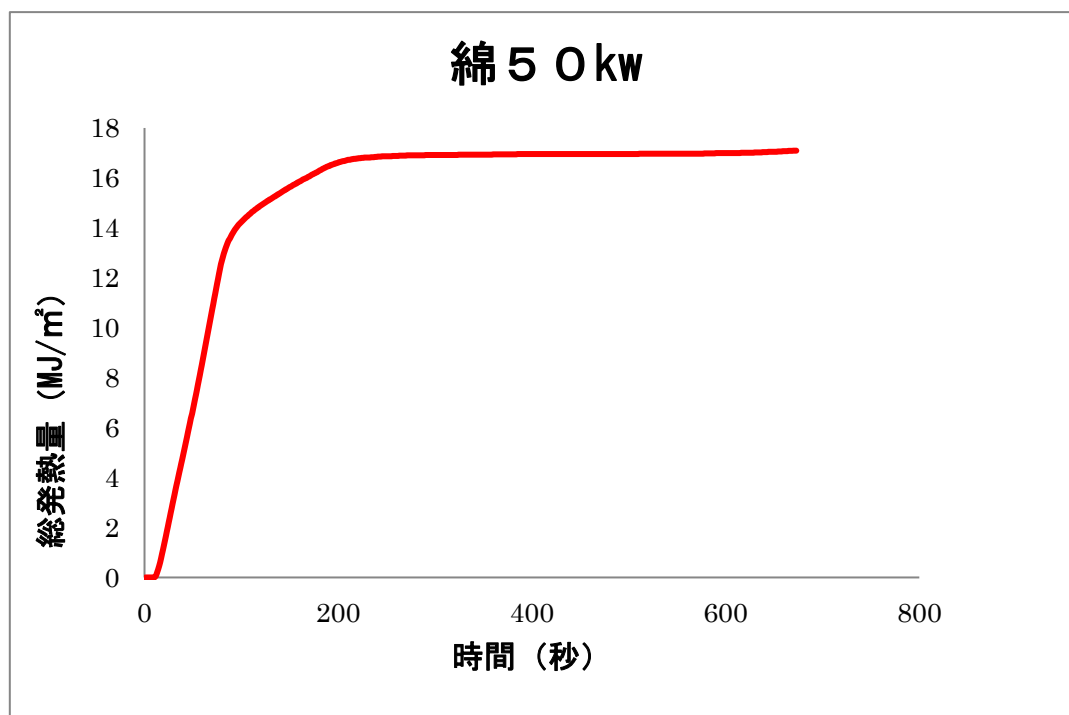


図-22：綿 50kw の総発熱量

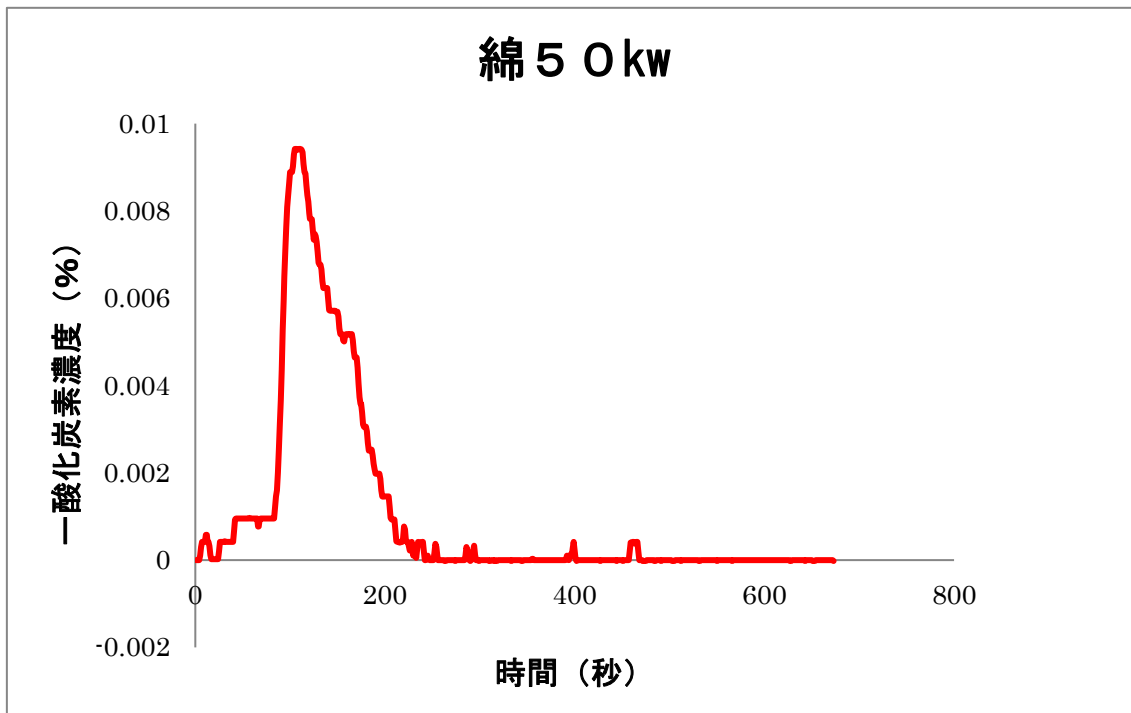
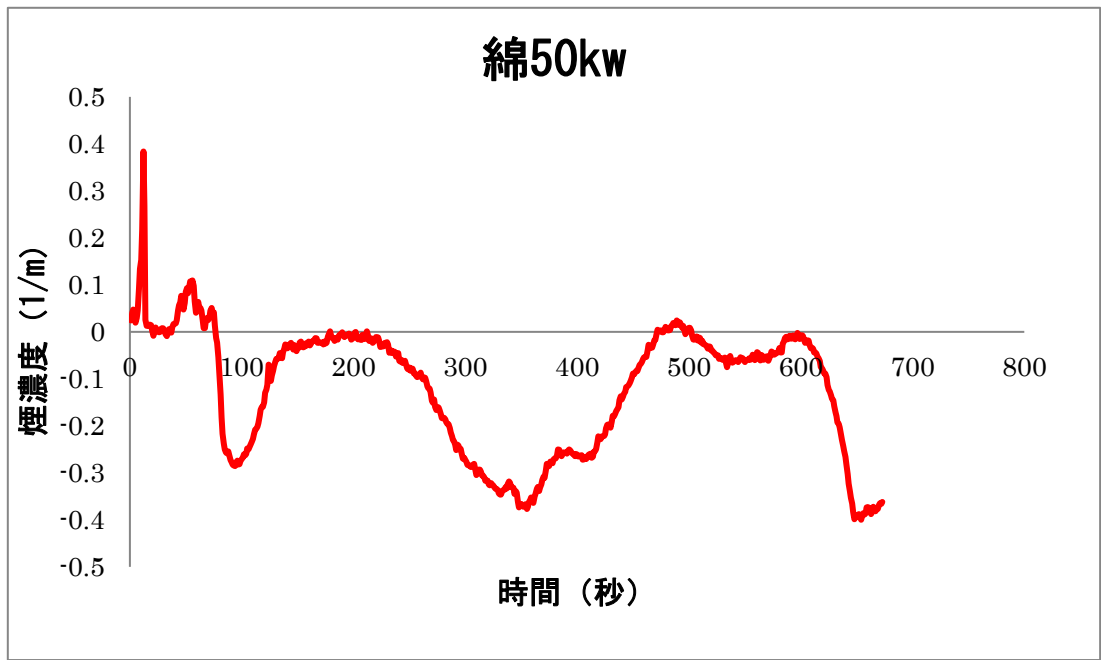


図-23：綿 50kw の一酸化炭素濃度

データは以下ようになった。

最大発熱速度	64.00 秒のとき 206.07kW/m <sup>2</sup>
平均発熱速度	28.43 kW/m <sup>2</sup>
最終試験体質量	0.00 g
試験体質量減少	10.02 g
消炎時間	106.0 秒
燃焼時間	95.0 秒
平均一酸化炭素収率	0.00104 kg/kg



**図-24 : 綿 50kw の煙濃度**

このとき最大値は12秒のとき0.38(1/m)である。この値で表より見通し距離を出すと、約5m以下と予想できる。この濃度だと建物に熟知している人が避難するときに支障を感じる事がわかる。30kw/m<sup>2</sup>のときよりも濃度が約2倍多くなっており、発生した時間も約2.5倍速くなっていることがわかった。



図-25：実験後の試験体の様子

4-3-5 実験V (30kw/m<sup>2</sup>のとき)

発熱速度・総発熱量・一酸化炭素濃度は以下のグラフのようになった。

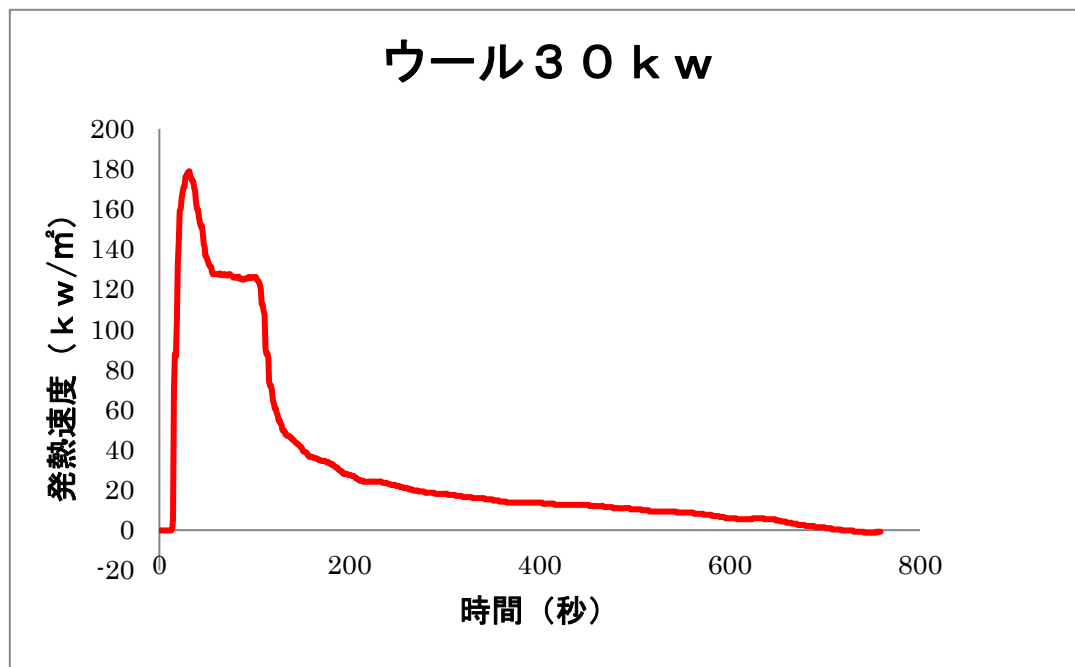


図-26：ウール 30kw の発熱速度

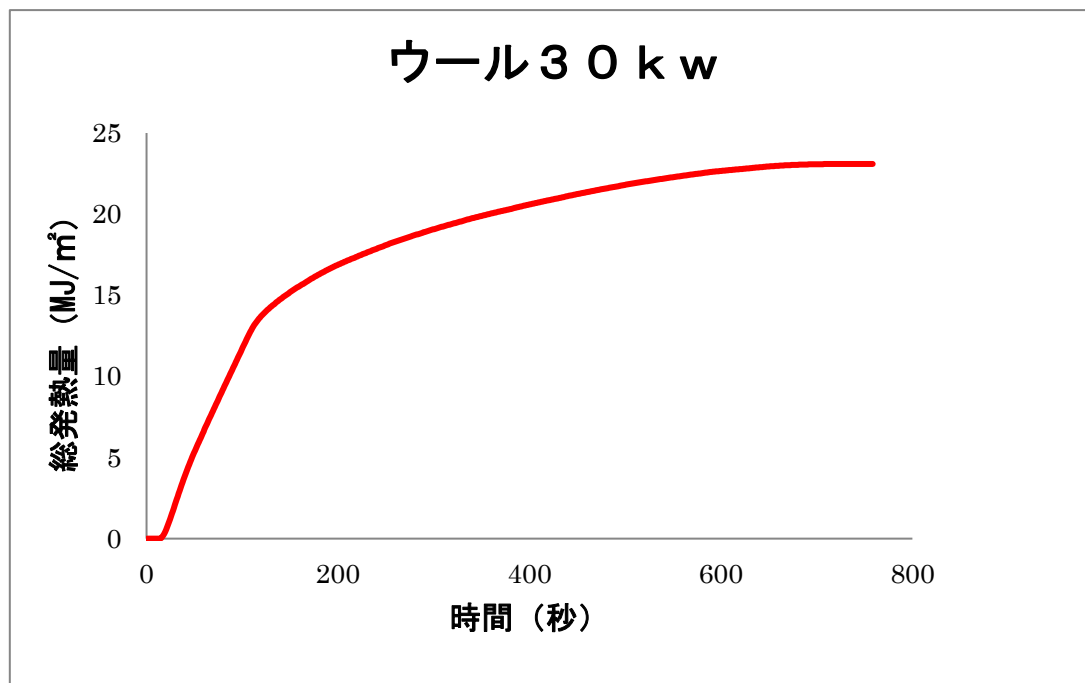


図-27：ウール 30kw の総発熱速度

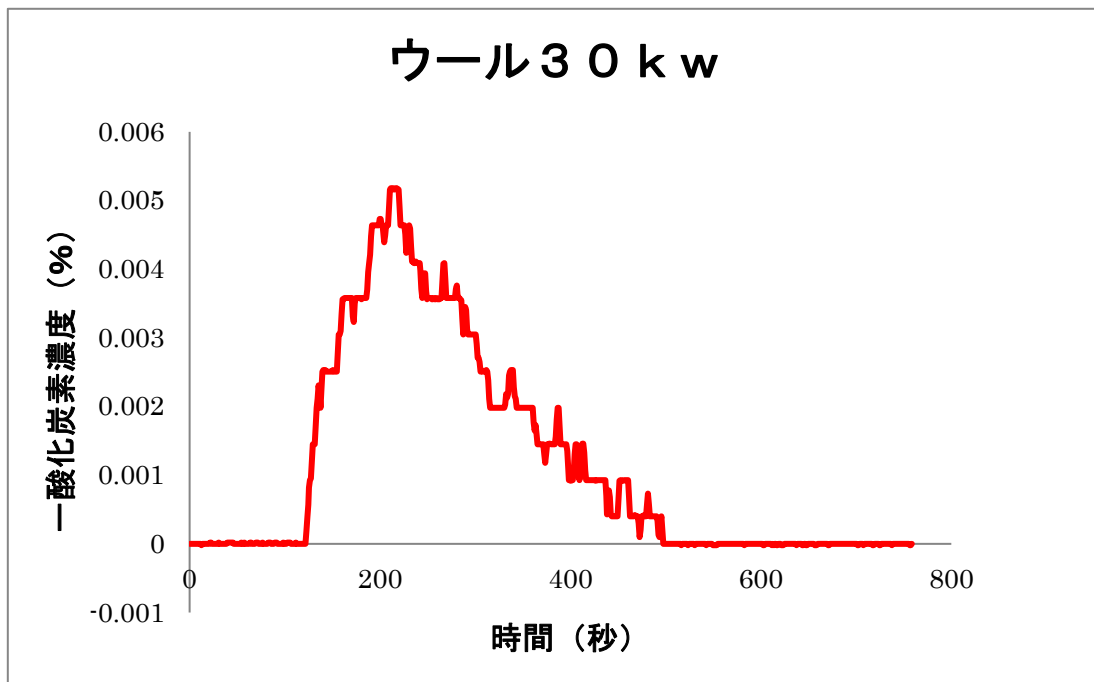
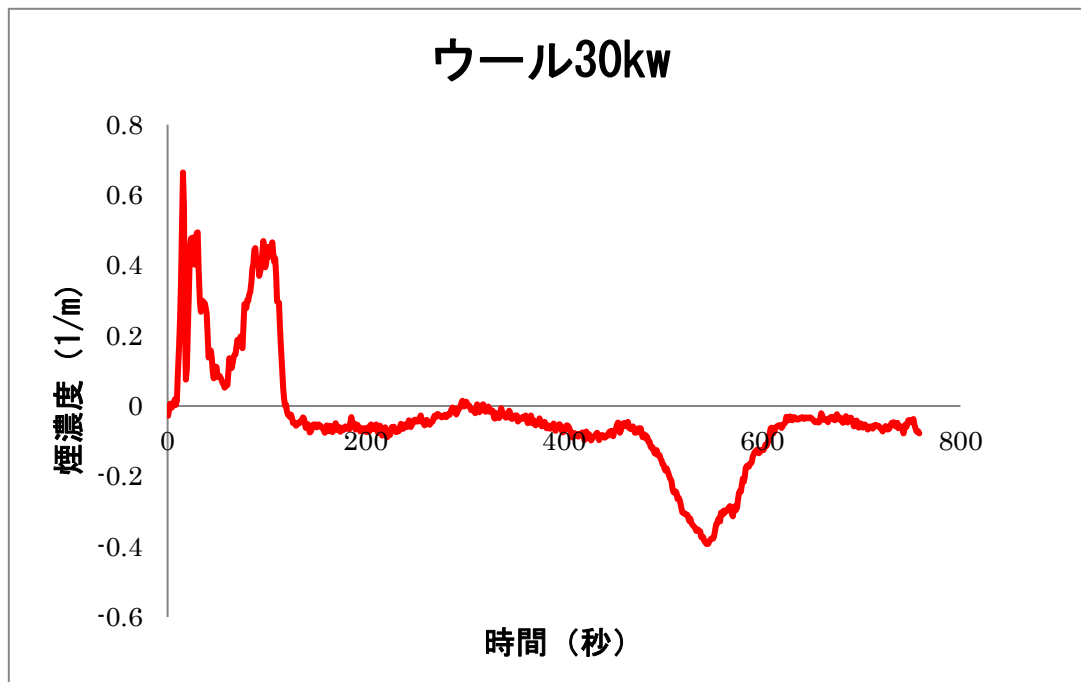


図-28 : ウール 30kw の一酸化炭素濃度

データは以下のようになった。

最大発熱速度	31.50 秒のとき 178.89kW/m <sup>2</sup>
平均発熱速度	36.66 kW/m <sup>2</sup>
最終試験体質量	0.20 g
試験体質量減少	10.30 g
消炎時間	226.5 秒
燃焼時間	211.1 秒
平均一酸化炭素収率	0.02199 kg/kg



**図-29 : ウール 30kw の煙濃度**

このとき最大値は 15.5 秒のとき 0.66 (1/m)である。この値で表より見通し距離を出すと、約 3m 以下と予想できる。この濃度だと薄暗く、手探り状態の行動になることがわかる。



図-30：実験後の試験体の様子

4-3-6 実験Ⅴ (50kw/m<sup>2</sup> のとき)

発熱速度・総発熱量・一酸化炭素濃度は以下のグラフのようになった。

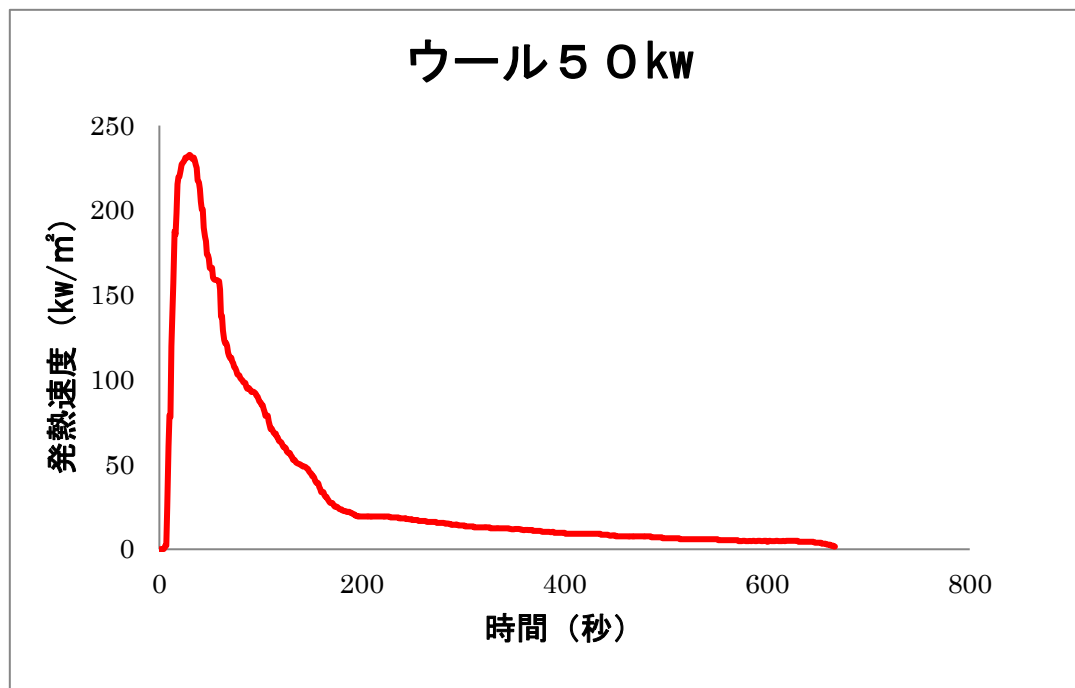


図-31：ウール50kwの発熱速度

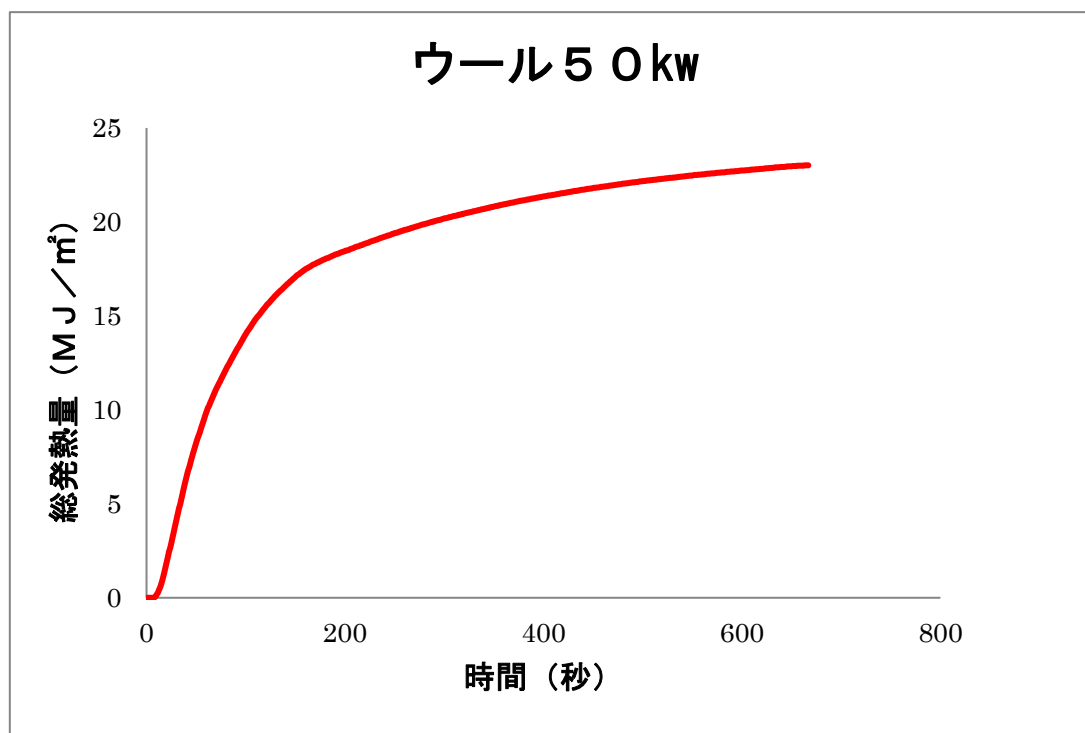


図-32：ウール50kwの総発熱量

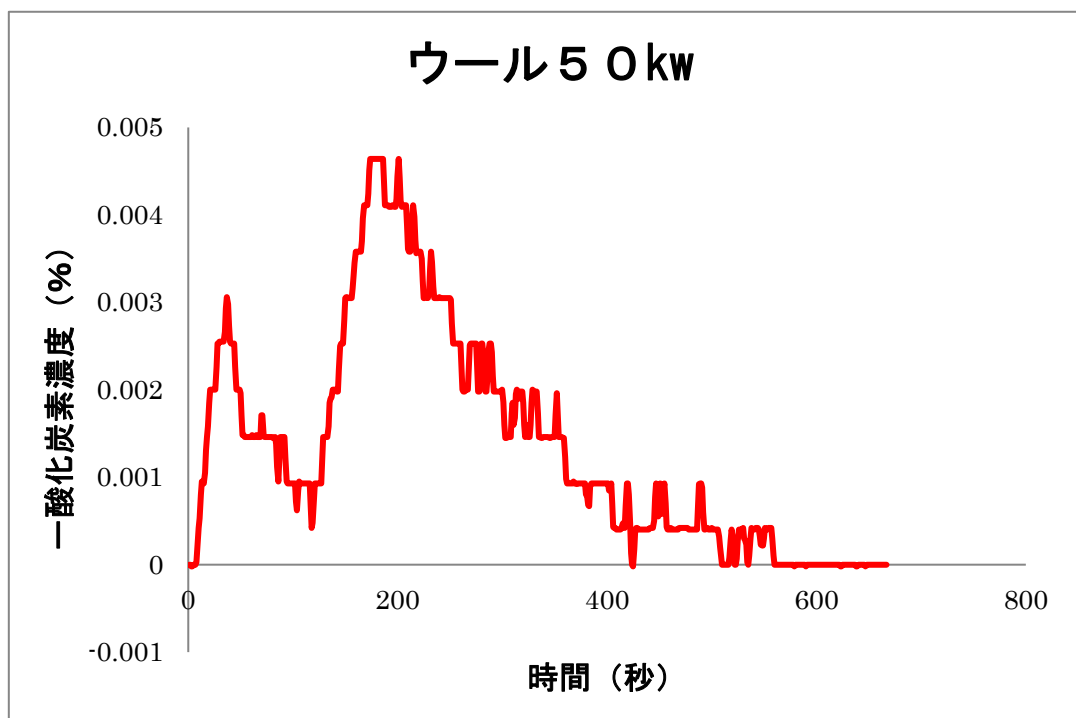


図-33 : ウール 50kw の一酸化炭素濃度

データは以下ようになった。

最大発熱速度	29.90 秒のとき 232.73kW/m <sup>2</sup>
平均発熱速度	37.96 kW/m <sup>2</sup>
最終試験体質量	0.27 g
試験体質量減少	10.16 g
消炎時間	169.9 秒
燃焼時間	161.6 秒
平均一酸化炭素収率	0.01524 kg/kg

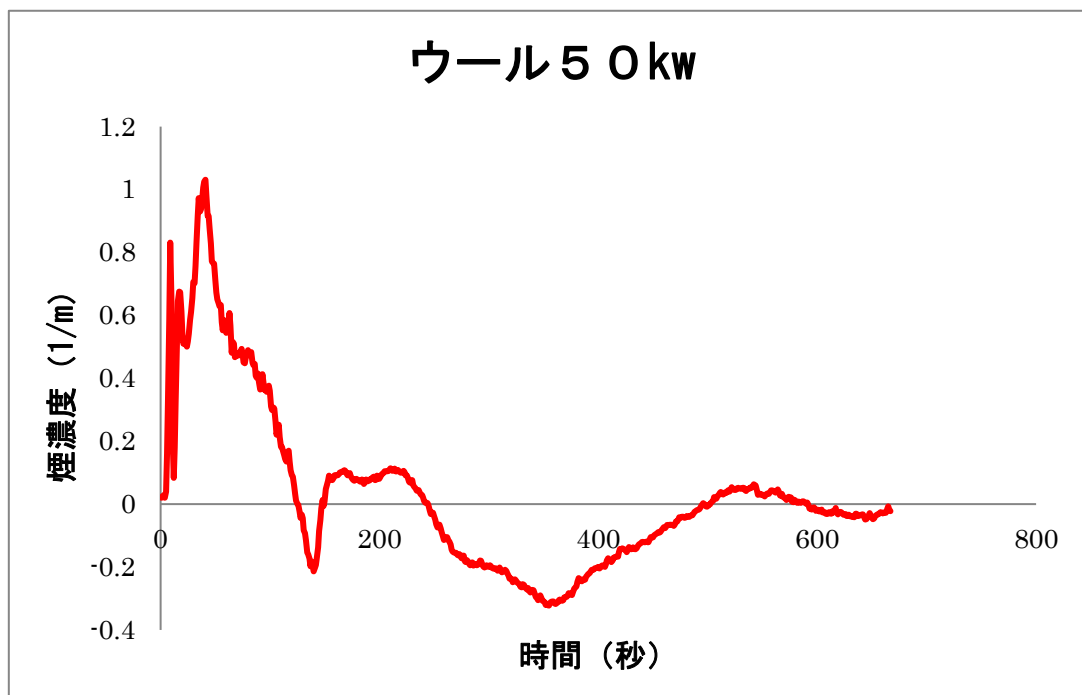


図-34 : ウール 50kw の煙濃度

このとき最大値は 40.9 秒のとき 1.03(1/m)である。この値で表より見通し距離を出すと、約 1~2m と予想できる。この濃度だとほとんど前方は視認できないことがわかる。30kw/m<sup>2</sup>のときよりも濃度が約 2 倍多くなっており、発生した時間も約 2.5 倍速くなっていることがわかった。



図-35 : 実験後の試験体の様子

#### 4-4 考察

- ・実験より、どの成分も30kwより50kwの方が早い時間に一酸化炭素がはっせいすることがわかった。
- ・天然素材のウールのほうがポリエステルよりも一酸化炭素濃度が大きいことがわかった。
- ・綿は30kw、50kw同様燃焼が終わるころにはほとんど跡形もなく消えていた。
- ・ポリエステルは燃焼をすると早い段階で液体に変わった。
- ・綿とウールはそれぞれ50kwの方が煙の見通し距離の段階が上がったが、ウールは50kwの方が遅い時間で煙濃度の最大値を出していた。
- ・綿とウールは30kwと50kwの平均発熱速度の値にあまり変化は見られなかったが、ポリエステルは30kwと50kwの間に約10kw/m<sup>2</sup>もの違いがあった。
- ・ポリエステルは最大発熱量が30kwと50kwを比較すると約2.6倍の差があるが、30kwの方が最大発熱量時の一酸化炭素濃度がわずかであるが、高いことがわかった。

## 第5章 区画内燃焼実験

### 5-1 実験計画

2009年11月19日、東京理科大学野田キャンパスにある火災科学研究センター実験棟にて670mm×980mm×780mmの箱を使用して天然素材・合成素材燃え方に違いは出るのかを見る実験を行った。この実験の結果によって、住宅内にどちらの素材の家具などを置いたほうが火災時に燃え広がりにくいのか、また一酸化炭素はどちらが少ないのかを知ることによって家具などの配置や素材をより安全なものにすることを目的とする。

### 5-2 実験概要

箱に開口口240mm×400mmを開け、箱の中にアクリル100%の毛糸が入ったアクリル100%の袋を6つ置き、着火剤によって着火し、二酸化炭素と一酸化炭素のガス濃度を測った(実験Ⅰ)。同じ条件で綿でも実験をした(実験Ⅱ)。



図-36：実験箱の様子



図-37：使用した毛糸（実験Ⅰ）

実験箱に入れた袋の重さはそれぞれ268.79g、252.31g、261.60g、263.59g、258.71g、257.27gである。



図-38：使用した毛糸（実験Ⅱ）



図-39：実験箱内の様子（実験Ⅱ）

実験箱に入れた袋の重さはそれぞれ 270.28g、250.80g、252.42g、248.66g、242.85g、262.20g である。また、着火剤は市販のものを使用し、着火時に 2.2cm × 3cm 四方に切って使用した（図参考）。



図-40：使用した着火剤

### 5-3 実験結果

ガス濃度は実験 I、実験 II それぞれ以下のグラフのようになった。

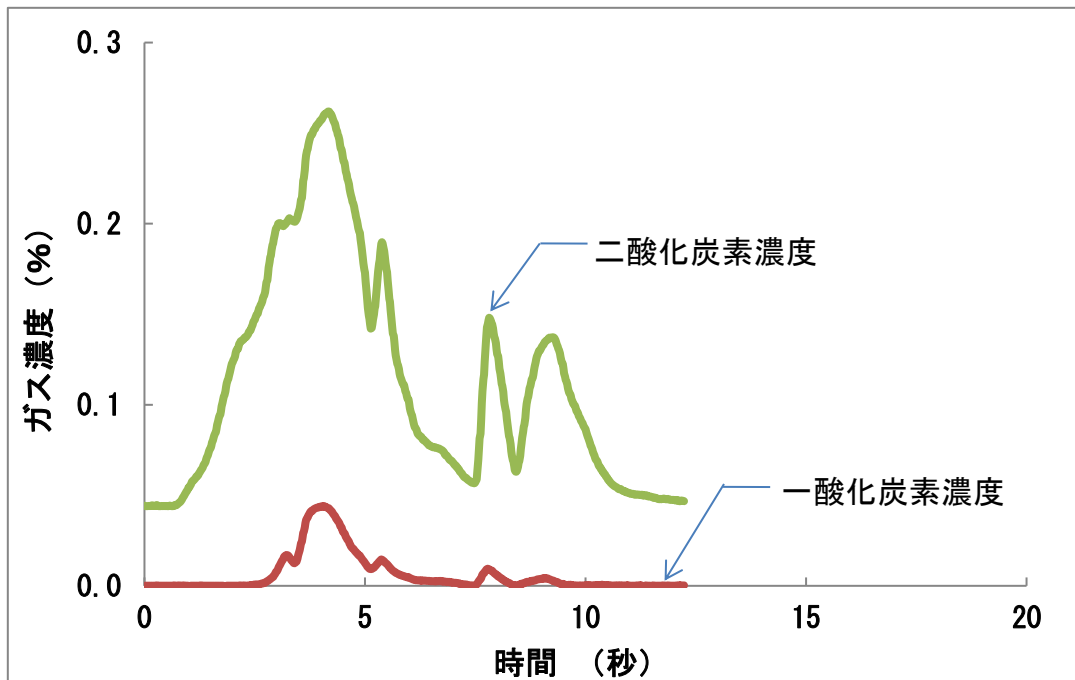


図-41：実験 I の区画内ガス濃度

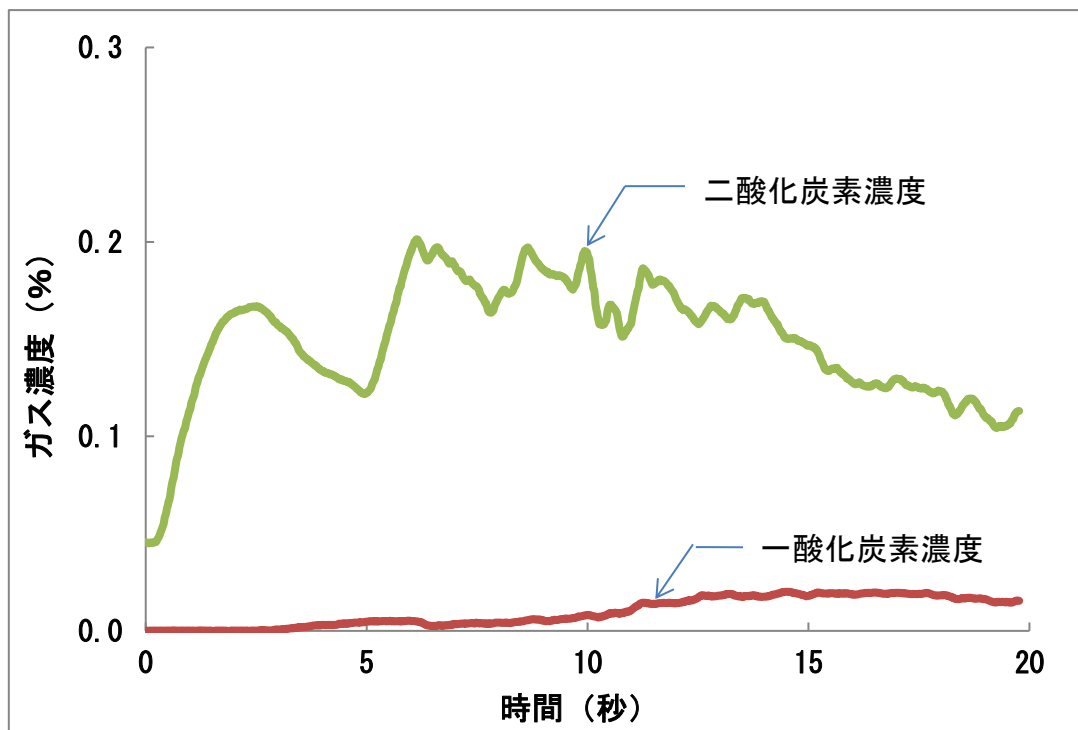


図-42：実験 II の区画内ガス濃度



図-43：実験Ⅰの終了後の様子



図-44：実験Ⅱ終了後の様子

#### 5-4 考察

このように、実験Ⅰと実験Ⅱを比較すると、グラフから一酸化炭素が発生する時間は圧倒的に実験Ⅰの方が早いことがわかる。また、一酸化炭素がそれぞれ一番出た量も実験Ⅰは4分4秒あたりで最大値0.0440%、実験Ⅱは14分28秒あたりで最大値0.0201%となっていることがわかる。加えて燃えている時の様子は実験Ⅰは炎をあげてよく燃えていた。実験Ⅱは燻焼(くんしょう)状態のまま静かに燃え、炭化して火が消えた。

## 第6章 視界実験

### 6-1 実験計画

煙によって視界が遮られたときに人々はどのような反応をし、どうやって避難をするのか。そこで一軒家のスタジオを利用してさまざまな年代の被験者によって実験を行った。この実験によって視聴者により現実的に煙の恐ろしさを感じてもらうことを目的とする。

### 6-2 実験概要

実験日時 2009年11月24日火曜日

場所 スタジオアットプレイス八王子1号店

今回6名の被験者の協力を得て以下の実験を行った。この被験者は、20代男女、30代男女および50代男女でいずれもマスクを着用した。被験者がマスクを使用したのは、実験で使用した煙は直接体に害はないが、煙を大量に吸引することで気分を悪くしないようにするためである。

家屋内の1階台所で煙発生装置（舞台などで使用する健康障害の無いもの：図-2）を使用し、実際の火災を想定した煙の量を発生させ、被験者に2階から1階に避難した後玄関を出るところまでの所要時間を計測した。

この実験により、煙のない状態で避難した場合（実験Ⅰ）と煙で視界が奪われた状態で避難した場合（実験Ⅱ）の所要時間を比較した。

この実験に参加した被験者は、実験の映像を撮影するために雇った芸能事務所所属のタレントである。芸能事務所には予め実験内容を説明していたが、被験者には内容は知らせていなかった。それは、実験を予期していると冷静に行動ができ、移動時間が早くなってしまい実際の火災時とは異なってしまうためである。また、実際に突然煙で視界を遮られた結果がどのような行動に現れるかを確認することも、この実験の目的であった。

このような条件を踏まえ、以下のように実験を行った。

1. 実験前に実験者は被験者に「二階の部屋からどのくらいで家の外に出ることが出来るか、その時間を測定します。」と説明をした。
2. 二階奥の洋室を控え室とし、そこから順番に出発地点（図-49）に移動し実験を開始した。実験Ⅰは、控え室からそのまま出発地点まで移動した。  
実験Ⅱは、避難経路に溜まった煙を見ないように目隠しをして移動した。
3. 実験開始の合図は、家の外から「(目隠しを取って)始めて下さい。」と声をかけた。



図-45：実験で使したスタジオ



図-46：被験者のみなさん



図-47：実験準備をする被験者の様子（30代男女）



図-48：実験で使った煙発生装置（ロスコ）

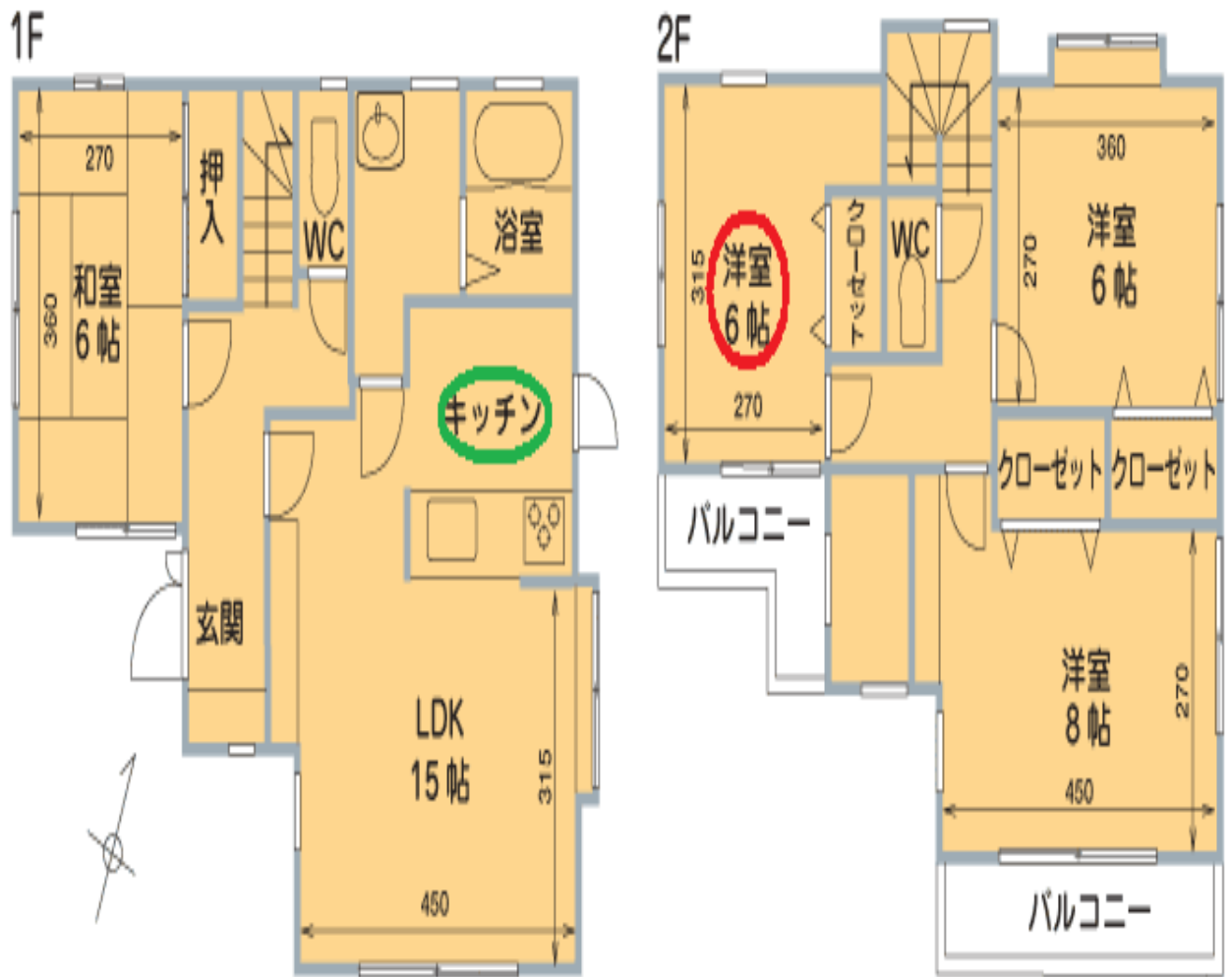


図-49：スタジオの間取り

赤い丸→試験者の出発地点

緑の丸→ロスコを焚いた場所

## 6-3 実験結果

### 6-3-1 実験 I



図-50：室内の様子（実験 I）

表-3 実験 I の結果

	被験者	所要時間 (秒)	避難の様子
A	30代女性	14.7	特に早くもなく、遅くもない普通の手速だった。
B	30代男性	9.0	短時間で到着した。
C	20代女性	12.2	Aに比べて短時間で到着した。
D	20代男性	11.9	Aに比べて短時間で到着した。
E	50代女性	18.0	遅い時間で到着した。
F	50代男性	15.7	Eに比べると短時間で到着したが、他の人に比べると遅い時間で到着した。

## 6-3-2 実験Ⅱ



図-51：室内の様子（実験Ⅰ）

表-4 実験Ⅱの結果

	被験者	所要時間 (秒)	避難の様子
A	30代女性	18.7	記録なし。
B	30代男性	41.0	階段を探すまでに時間がかかっていた。
C	20代女性	44.7	階段を探すまでに時間がかかっていた。怖がっていた。煙にむせていた。
D	20代男性	50.3	階段を探すまでに時間がかかっていた。怖がっていた。
E	50代女性	84.0	部屋を出た瞬間視界の悪さに驚き、怖がっていた。
F	50代男性	90.0	視界の悪さに戸惑っていた。階段を探すまでに時間がかかっていた。

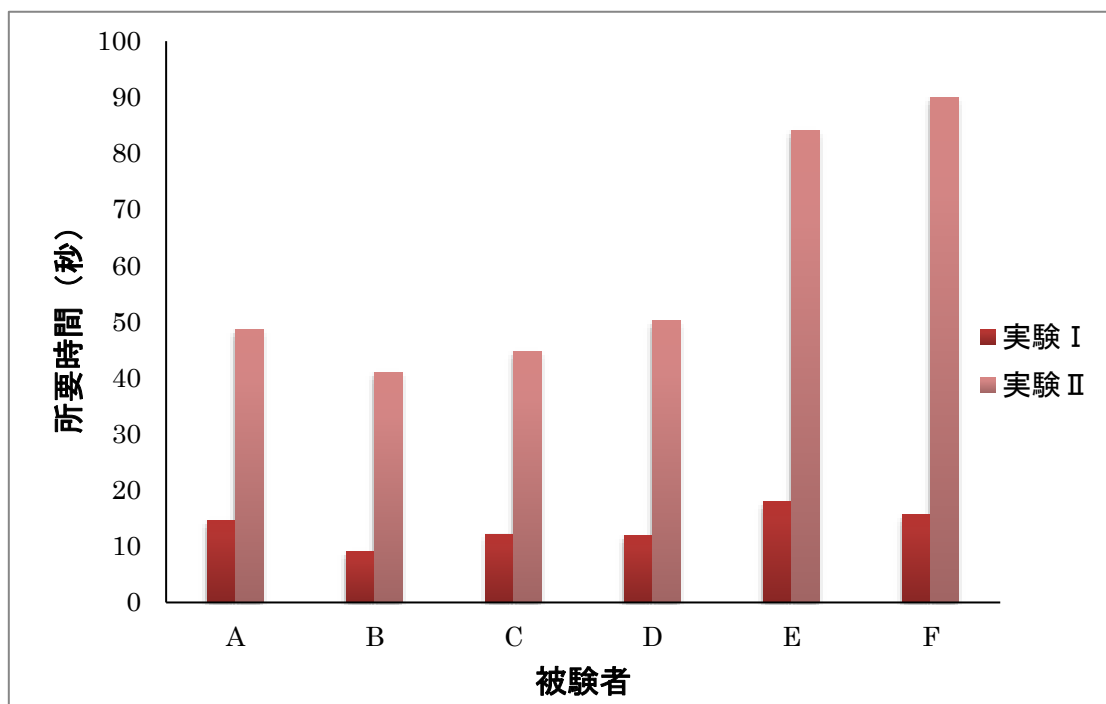


図-52：実験 I・II を比較したグラフ

#### 6-4 考察

これらの結果より、煙のある状態とない状態を比較すると前者が家を出るまでに時間がかかっていることがわかった。特に50代男女（E、F）では全体を通して他の世代よりも移動が遅かった。もし50代よりも上の世代で同じ実験をすれば、さらに時間がかかることが予想される。私が間近で見ていて印象的だったのは煙に対する恐怖感が被験者6名から感じられたことである。今回は煙について取り上げたが、実際の火災では炎や黒い煙も存在することも忘れてはならない。このことを考慮して防煙意識を高めていく必要がある。

## 第7章 東京理科大学神楽坂校舎5号館での避難訓練における煙実験

### 7-1 実験計画

2009年12月24日、東京理科大学神楽坂校舎5号館で行われた避難訓練の一環で実施された煙実験（煙体験）の様子をまとめた。

### 7-2 実験概要

東京理科大学神楽坂校舎5号館地下1階にて図のような赤いルートに煙発生装置（ロスコ）を設置し、実際の火災を想定した煙の量をオレンジの斜め線の範囲に発生させ、その中を被験者である東京理科大学の学生が歩き、煙の恐ろしさを体験する実験を行った。水色の部分はブルーシートで煙が逃げないように区画した。歩く様子はルートを出たすぐ傍でモニターを設置し、観察した。



図-53：間取り



図-54：煙発生装置（右）と、区画したブルーシート（左）

### 7-3 実験結果

#### 7-3-1 歩いている様子

ルートを歩いているときの被験者の様子をまとめた。

- ・足元がおぼつかない
- ・煙にむせている
- ・背を低くして歩いている
- ・目の前を手で扇いでいる
- ・転んだ人がいた
- ・迷わずに歩いている人がいた
- ・怖がっていた



図-55：実験前の様子（右）と煙を発生させた直後の様子（左）



図-56：体験中の被験者の様子



図-57：被験者の足もとに置いたカメラの映像（モニターの写真）

### 7-3-2 体験を終えた直後の感想

ルートから出てきたときの被験者が話していた感想をまとめた。

- ・ どうやって出るのかわからなくて怖かった
- ・ 全く何も見えなかった
- ・ 実際もこの煙の量なのかと思うと怖い
- ・ 息苦しかった
- ・ 実際の火災で煙に加えて炎も迫ってきたらパニックになる
- ・ こんなに見えないとは思わなかった
- ・ 後ろも見えなかった

#### 7-4 考察

第6章での視界実験と同様、被験者全員が恐怖感を感じているのが見て感じ取れた。今回の実験は避難することよりも、火災で発生する煙を体験することが目的だったため、被験者は全員歩いていた。しかし実際に同じ場所で火災が発生した場合、パニックが起ることはもちろん、将棋倒しや負傷者が出ることも予想できる。また、この建物は造りが複雑であるため、土地勘がないと避難が難しいことも予想される。逃げ遅れなどがないように建物の避難経路を事前に確認することが大切であると考えられる。

残念だったことは大人数が通ることから、煙が拡散されて最後のあたりは煙の濃度が薄くなり、被験者全員が平等に同じ煙を体験できなかったことだ。また、被験者の大半が真面目に煙体験をしていたが、中には写真を取り合っていた人もいた。そういうふざけた人を減らす努力も今後火災を研究する上で必要であることもわかった。

## 第8章 まとめと今後の課題

本研究を通して、次のようなことがわかった。

- ・人工的に作られた素材は火災時に危険である。
- ・煙は単に視界を遮ったり、有毒であることだけでなく、心理的にも影響がある。
- ・実験は必ずしも成功するとは限らない。
- ・このビデオにはたくさんの人たちの協力がないとできなかった。

本研究を通して、今後の課題は次のようなことがわかった。

- ・煙体験の実験でふざけている人がいたため、もっと生徒の関心を集められるような避難訓練を考える。
- ・今回は毛糸や布などを使用した実験だったため、また機会があれば家具などもっと身近な物で行いたい。
- ・まとめで述べたように、煙には心理的影響もあることがわかったため、その部分をもっと掘り下げて研究をすることで、また違う観点から火災を考えられるだろう。

## 参考文献

- 1) 平成21年度版消防白書  
<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h21/h21/index.html>
- 2) 日本火災学会編 「火災と建築」 共立出版株式会社 2002年3月25日発行
- 3) 建築材料研究会編 「建築材料学」 財団法人科学技術振興会  
2002年4月1日発行
- 4) 堀内三郎監修、保野健治郎・室崎益輝編集 新版建築防火  
朝倉書店 1994年8月25日発行
- 5) 消防をよくする会ニュース  
[http://www.geocities.jp/fm\\_0119/news/30/news35.html](http://www.geocities.jp/fm_0119/news/30/news35.html)

## 謝辞

本研究を進めていくにあたり、丁寧なご指導をいただいた辻本 誠教授には大変お世話になりました。やる気だけしかない私にたくさんのアドバイスをいただいたことを大変幸せに思い、感謝の気持ちでいっぱいです。また、様々なアドバイスを下さった西田先生や個別に脚本のチェックや過去の実験をご提供していただいた小林先生にも大変感謝しております。

ビデオを作製するにあたり、松山 賢教授や火災化学研究センター実験棟の棚池さんや野秋さんにたくさんアドバイスや計画などしていただき、心から感謝しております。制作会社のノンプロダクションの菅原さんや貝沼さんも単にビデオの内容だけでなく、卒業研究の内容まで気遣っていただき、本当に感謝の気持ちでいっぱいです。

私ごとではありますが、辛いときや心が折れそうになったときに自分のことのように思っ、支えてくださった辻本研 OG の渡辺育吏先輩や大学院生の前川結宇理先輩に心から感謝の気持ちでいっぱいです。研究室外でも友人に支えられ、改めて人の優しさに気づくことのできた最高の1年間だったとおもいます。

本研究を終え、ビデオの脚本を卒業論文にするというのは難しい作業でした。ちゃんと努力が生かされたのか心配な部分と反省点ばかりです。未熟な点が多い論文ですが、今の自分の力を全て出したつもりです。この貴重な経験を生かして、修士ではさらにパワーアップしていきたいです。これからも根気強く火災安全工学に励んでいきたいです。1年間、本当にありがとうございました！