

# 環境防災型変圧器用絶縁性液体の 燃焼性評価に関する検討

---

---

第27回 石油学会 絶縁油分科会発表会

平成19年 6月 8日

京都市勧業館「みやこめっせ」

諏訪東京理科大学

◎鈴木 久仁子, 須川 修身, 上矢 恭子

日本AEパワーシステムズ

宮城 克徳, 山岸 明

---

---

A decorative header at the top of the page. It features a horizontal row of colored squares in yellow, pink, green, purple, and brown. Below these squares is a blue waveform graphic. The title '目次' is centered over the green square.

# 目次

2

1. はじめに
2. 検討内容
3. 絶縁性液体の燃焼性評価
4. 試験結果
5. 考察とまとめ
6. 今後について
7. 謝辞

# 1. はじめに

3

## 1. 環境適合性に対する社会的責任

環境配慮に対する要求の高まり

ポスト京都議定書による温室効果ガス排出抑制(2050年迄に世界排出量半減[日本案])

⇒脱SF<sub>6</sub>ガス化が世界的な潮流

## 2. 防災性に対する社会的責任

都市型変電設備などでは周辺地域との協調が重要

火災に対して強い機器が必要

⇒ 高引火点絶縁性液体の変圧器への適用(例:シリコン液入変圧器)

## 3. 絶縁性液体の難燃性評価法確立

◎消防庁省令の扱い:指定可燃物(平成14年消防法改正)扱い・・・引火点250°C超と高い

◎各種高引火点絶縁油と固体材料の燃焼時の性状比較

◎現行法JIS法 C2101(ガラステープ法)と提案法ISO5660(コーンカロリメーター法)との試験法比較

⇒ 難燃性合成油入変圧器の火災安全性評価確立

# ① 絶縁性液体燃焼の必要条件

## 燃焼の必要条件

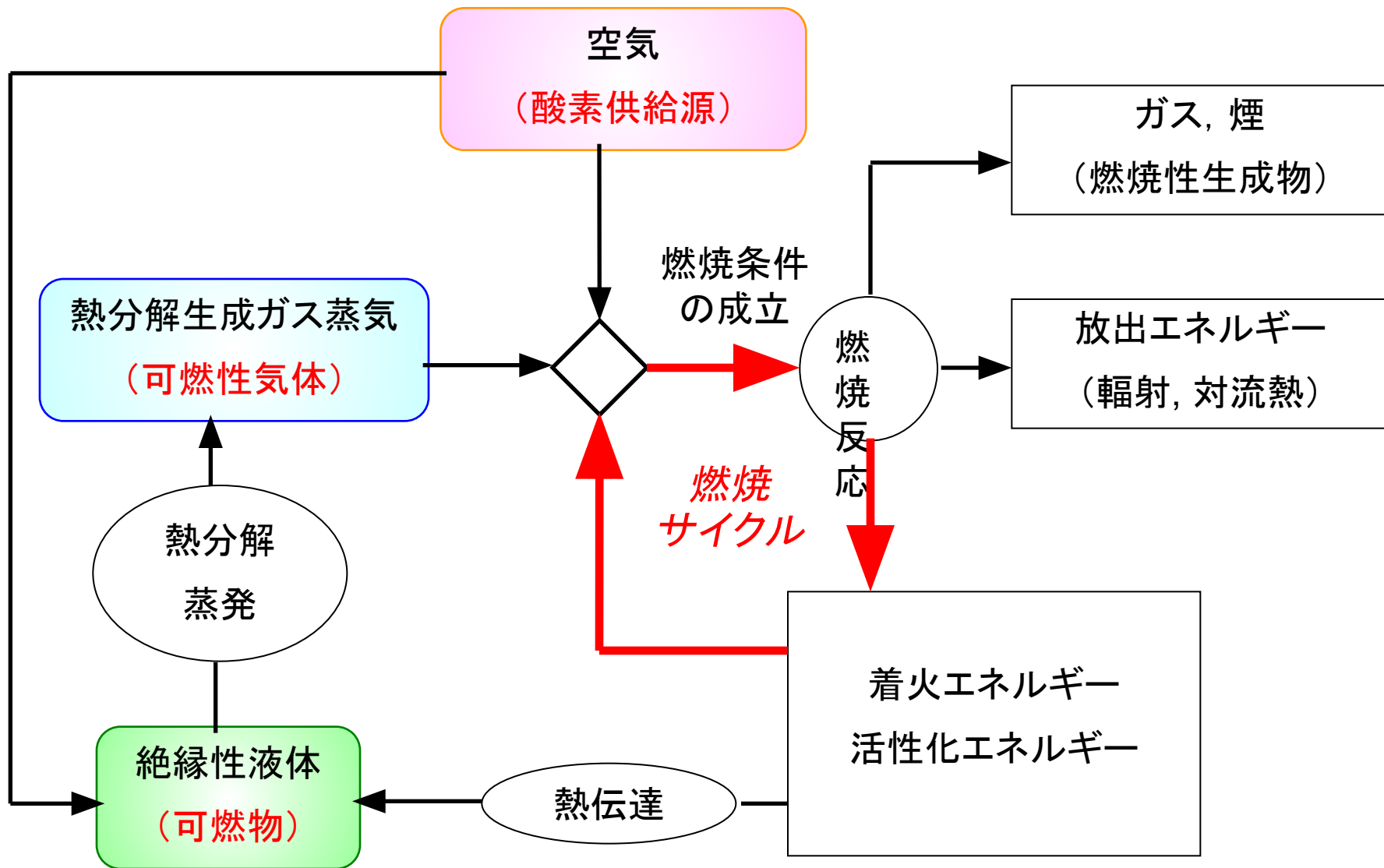
- 可燃物 ⇒ 絶縁油
- 酸素 ⇒ 空気
- 熱源 ⇒ 外部からの熱

## 絶縁性液体の燃焼性の基本因子

- 着火の難易
- 火災の伝播性
- 消炎性
- 熱放出
- 燃焼生成物

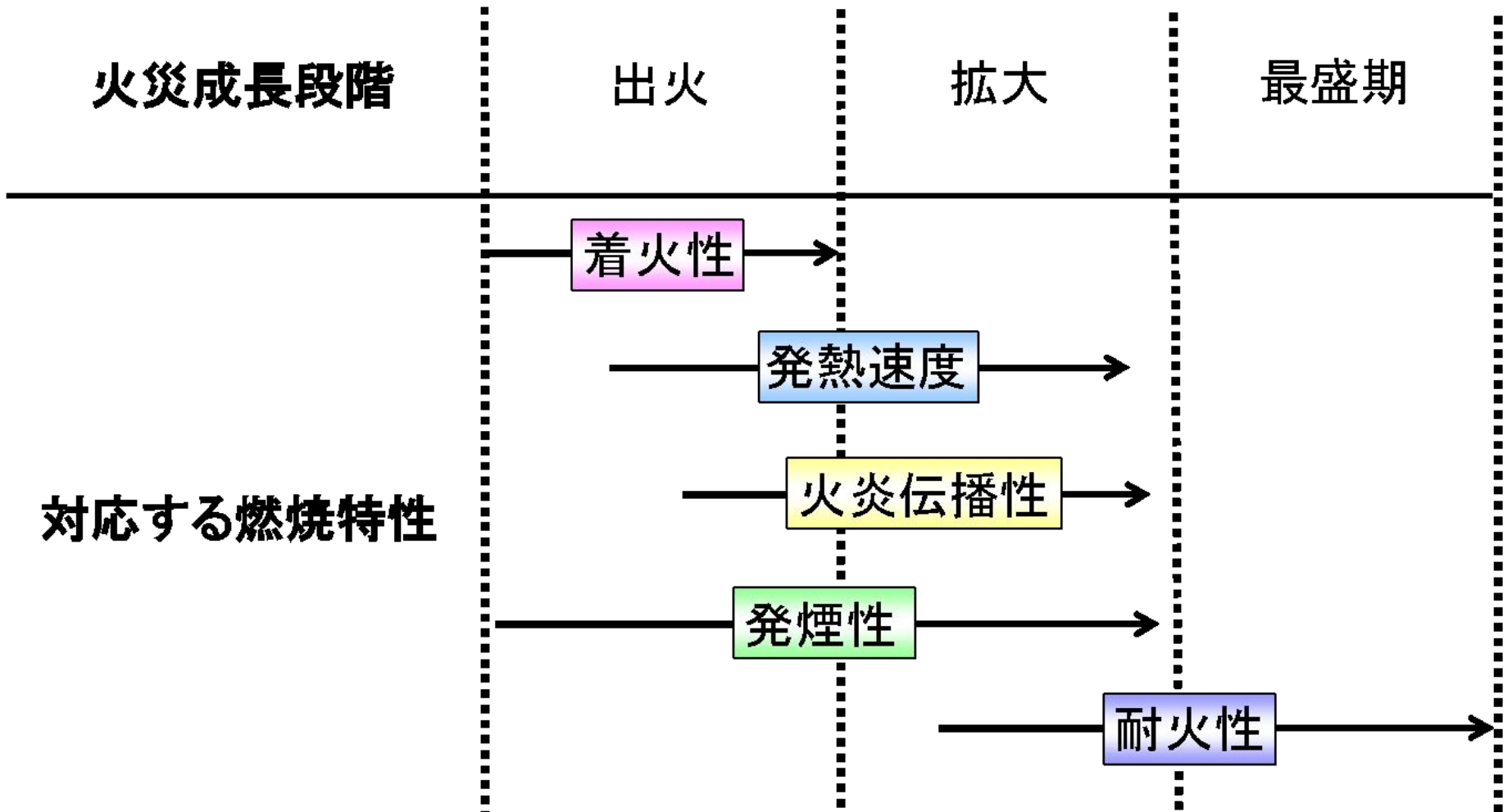
## ② 絶縁性液体の燃焼過程

5



### ③火災成長の遷移

6



## ④ 絶縁油の燃焼性の基本因子と試験方法

7

燃焼性の基本因子	評価のポイント	試験方法
着火の難易	着火しやすいか否か	引火点、燃焼点UL法 他 <u>ヨンカロリーメーター法</u>
火炎の伝播性	火炎が伝播しやすいか	<u>ガラステープ法</u> スプレーミスト法 プールファイア法 <u>ヨンカロリーメーター法</u> 他
消炎性 (火炎の持続性)	燃えつづける可能性が大きいのか	酸素指数法 プールファイア法 <u>ヨンカロリーメーター法</u> 他
熱放出	単位時間に放出される燃焼エネルギーの大きさか	プールファイア法 <u>ヨンカロリーメーター法</u>
燃焼生成物	煙, ガス生成量の多いか少ないか	プールファイア法 <u>ヨンカロリーメーター法</u>

## 3.2.供試試料

(高引火点絶縁性液体・固体材料)

8

- 供試試料 : ①代表的な変圧器用絶縁性液体  
鋳油, 20cStシリコン液, 50cStシリコン液,  
合成エステル油, ポリオールエステル油, 天然エステル油  
②一般的な固体材料  
木材(杉), 建材(石膏ボード), 絶縁木, モールド樹脂
- 測定項目: 「着火性」, 「発熱性」, 「火炎伝播性」, 「発煙性」を確認  
限界着火放射熱量, 着火時間, 発熱量・速度,  
発煙量・速度, 火炎伝播速度の測定



# 3.2. 供試試料 (高引火点絶縁性液体)

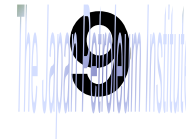


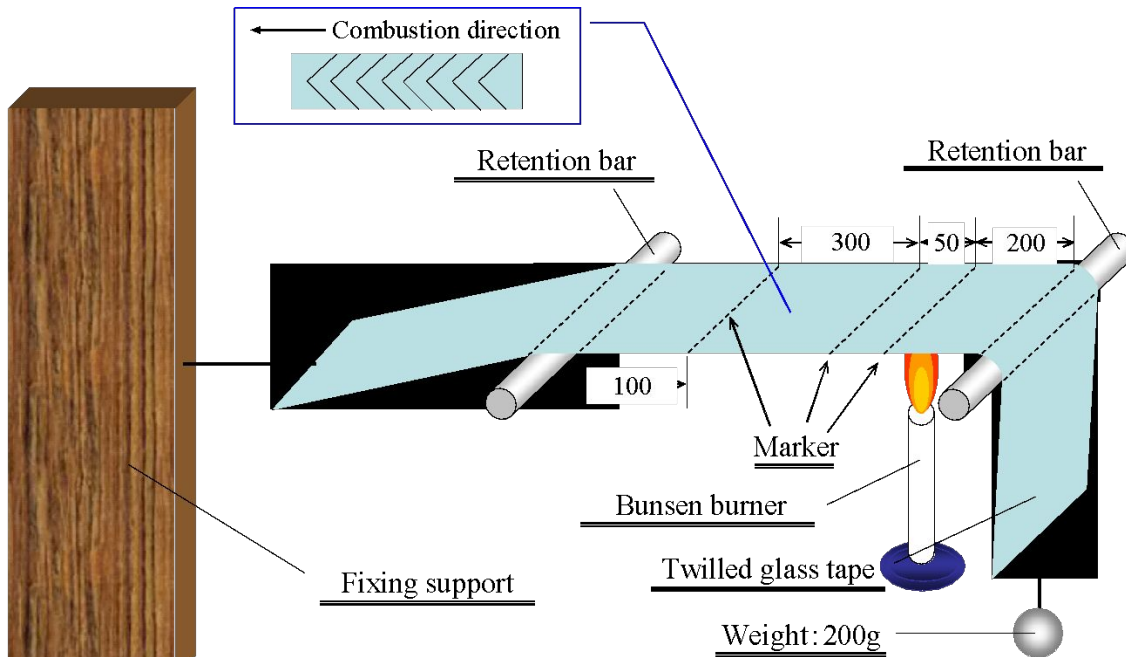
Table1. Thermo-physical Properties for each insulation fluid

Term		Mineral Oil (HS Trans N)	Silicone Liquid (KF96)		Synthetic Ester Oil (MIDEL7131)
			20cSt	50cSt	
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho$	870	950	960	970
Thermal Conductivity [W/mK]	$\lambda$	0.123	0.142	0.153	0.144
Specific Heat [J/kgK] @40°C	$C$	1993	1633	1502	1880
Flash Point [°C]	$T_s$	145	>250	> 310	275

Polyol Ester Oil (Bio Trans VG32)	Natural Ester Oil (FR3)
970	920
0.120	0.167
1800	1884
274	300

# 3.3.燃焼性試験方法

## -JIS C 2101 ガラステープ法(現行法)-



### Experiment assumption

- Flame height 30 mm
- Measurement section 300 mm
- Quantity of adhesion of a sample 0.2 g/10 cm

Fig1. Outline of the combustion rate measurement apparatus

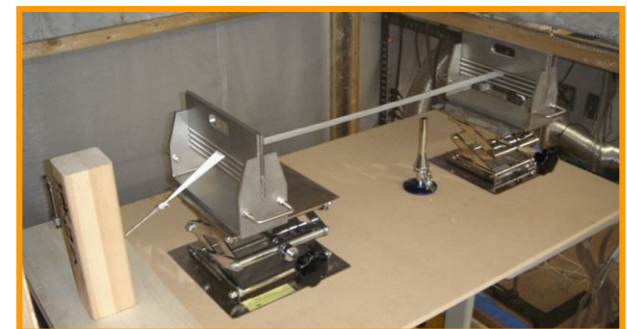
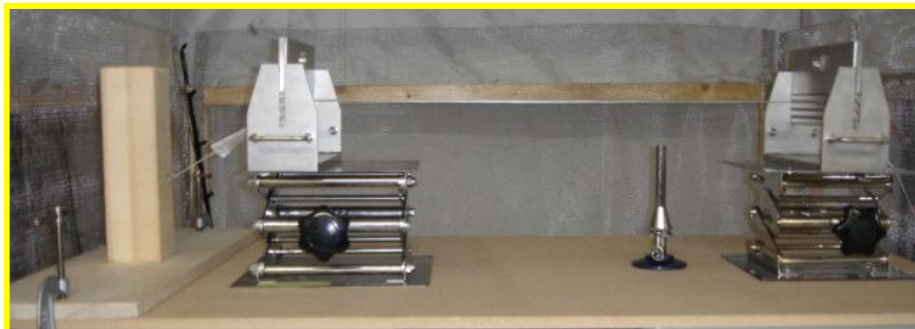


Fig2. Pictures of the combustion rate measurement test

### 3.3. 燃焼性試験方法

- ISO 5660 コーンカロリーメーター法 (提案法) (1/2) -

#### Experimental Apparatus

#### ISO 5660 *Cone Calorimeter*



Fig3. View of Cone calorimeter

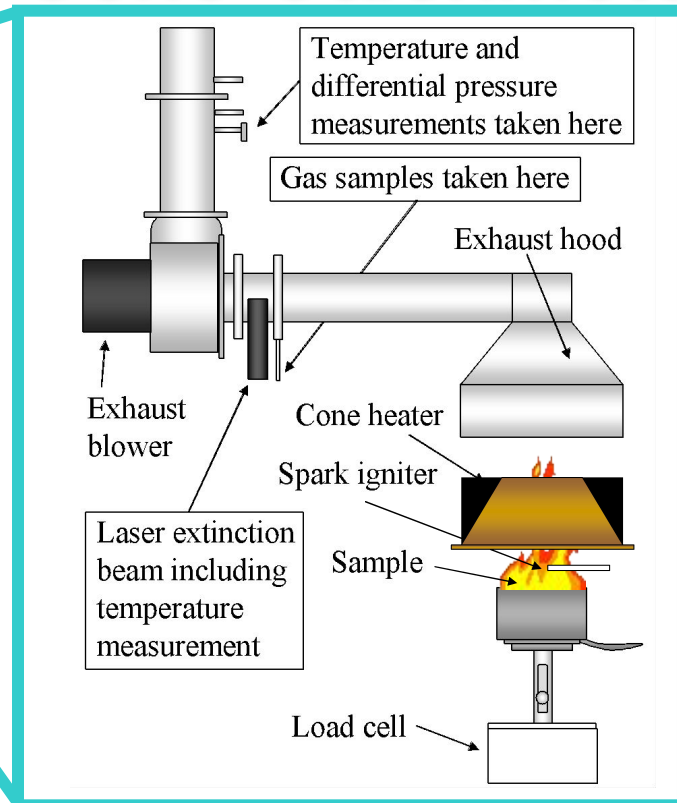


Fig4. Overview of Cone calorimeter

# 3.3.燃焼性試験方法

## - ISO 5660コーンカロリーメーター法(提案法)(2/2) -

### Measurement items & Radiant heat fluxes

IEC60695-8-3(Draft)

**Ignition performance** .. Ignition time  
Critical radiant heat flux  
→ 3 ~ 50 [kW/m<sup>2</sup>]

**Heat buildup** ..... Heat release rate  
Total heat release  
→ 50 [kW/m<sup>2</sup>]

**Smoke evolution** ..... Smoke production rate  
Total smoke production  
→ 50 [kW/m<sup>2</sup>]

**Flame propagation** ..... Flame propagation velocity  
→ 17 [kW/m<sup>2</sup>]



Fig5 Square Pan



Fig6. Circular Pan

### Pans

- Square...100mm×100mm×15mm
- Circular...Dia.φ110.27mm×15mm

### Measuring time

1800 [sec]

# 4. 試験結果 (着火性)

## — ISO 5660コーンカロリメーター試験 —

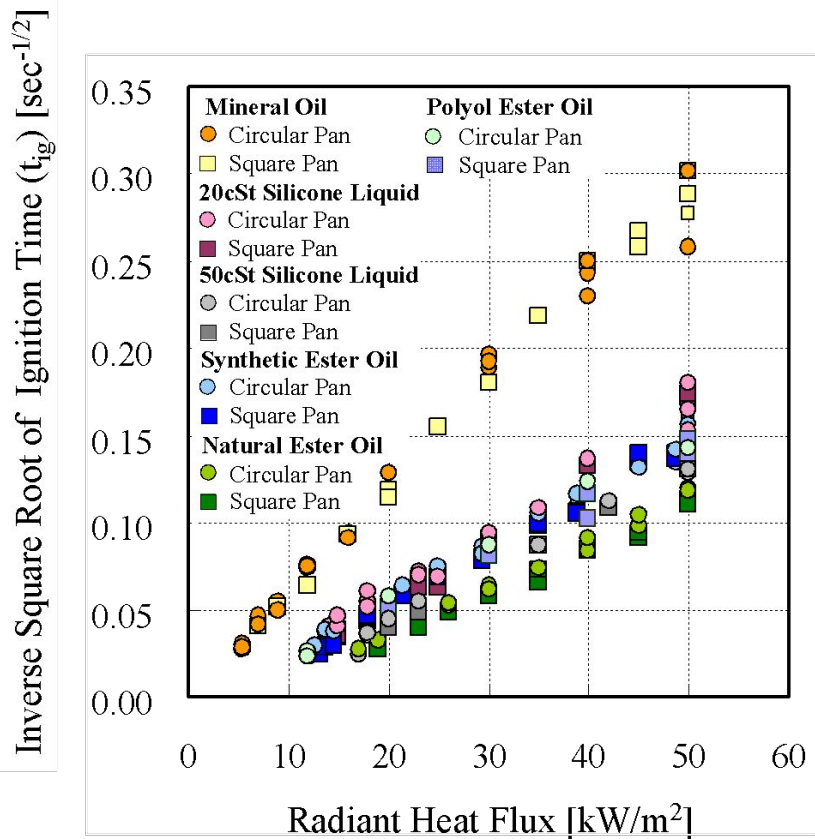


Fig7. Correlation between inverse square root of ignition time ( $t_{ig}$ ) and radiant heat flux to the **fluids**' surface.

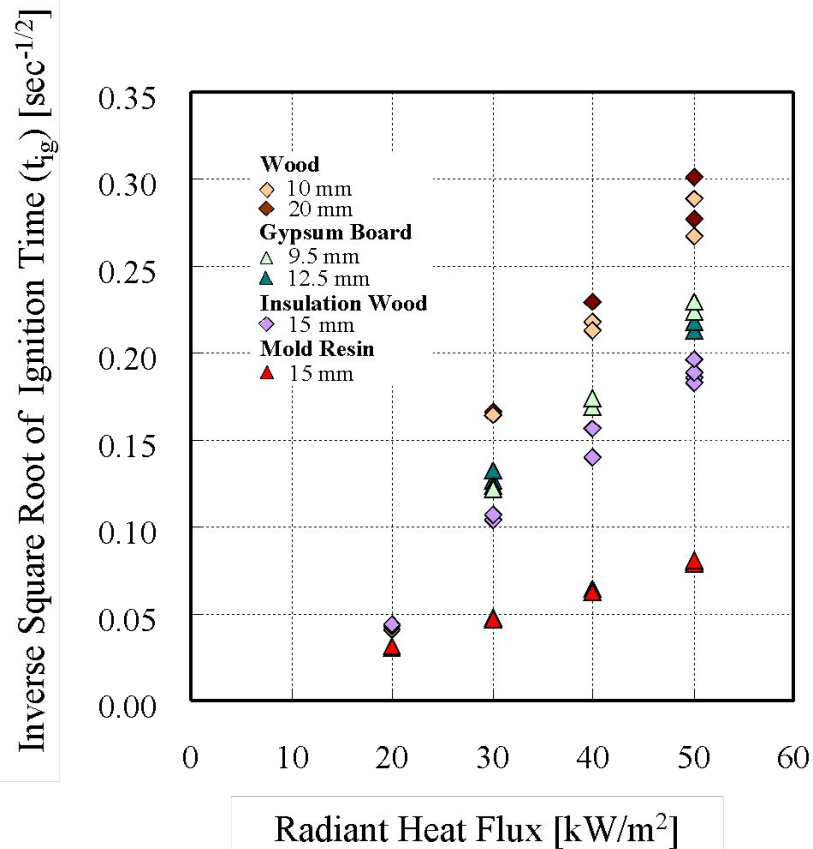
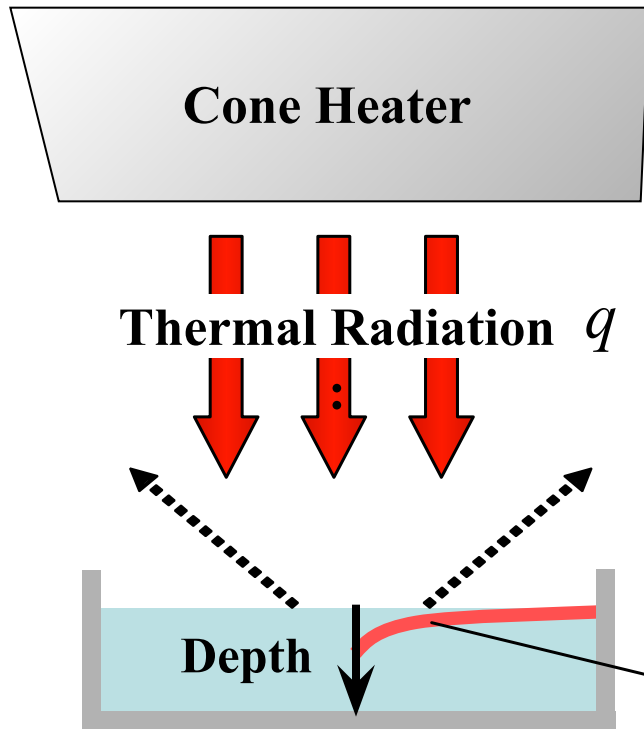


Fig8. Correlation between inverse square root of ignition time ( $t_{ig}$ ) and radiant heat flux to the **solids**' surface.



# 着火時間の推定(1/2)

## Semi-infinite solid



$$\frac{1}{\sqrt{t_{ig}}} \frac{T_s - T_0}{\sqrt{\lambda \rho C}} = \frac{1.128 q}{\sqrt{\lambda \rho C} (T_s - T_0)} \sqrt{\frac{\alpha t}{\lambda \rho C}} \quad (2) \quad (3) \quad (5)$$

... (4)

$q$  : Radiant heat flux,  $T_s$  : Surface temperature,  
 $T_{ig}$  : Ignition temperature,  $T_o$  : Ambient temperature,  
 $t_{ig}$  : Ignition time,  $t$  : Time,  $\rho$  : Density,  
 $C$  : Specific heat,  $\lambda$  : Thermal conductivity

Fig9. Model of radiant heating

# 着火時間の推定(2/2)

## ★ Calculation Value

- Mineral
- 20cSt Silicone
- 50cSt Silicone
- Natural Ester
- Synthetic Ester
- Polyol Ester
- Oil

## ★ Experimental Value

### Mineral Oil

- Circular Pan
- Square Pan

### 20cSt Silicone Liquid

- Circular Pan
- Square Pan

### 50cSt Silicone Liquid

- Circular Pan
- Square Pan

### Synthetic Ester Oil

- Circular Pan
- Square Pan

### Natural Ester Oil

- Circular Pan
- Square Pan

### Polyol Ester Oil

- Circular Pan
- Square Pan

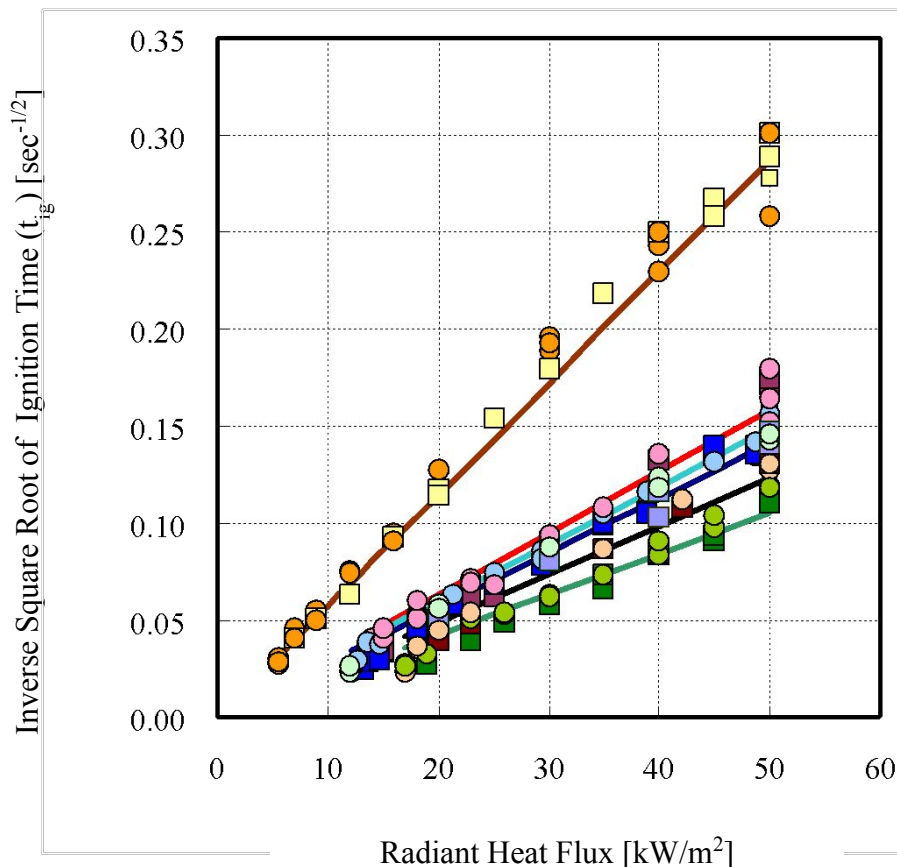


Fig10. Simulated correlation between inverse square root of ignition time ( $t_{ig}$ ) and radiant heat flux to the fluids.

# 燃烧試験姿(1/3)

16

— ISO 5660 コーンカロリーメータ試験 —

— Insulation fluids —

20cSt Silicone  
Liquid

Natural Ester Oil

Mineral Oil

Synthetic Ester Oil

Polyol Ester Oil

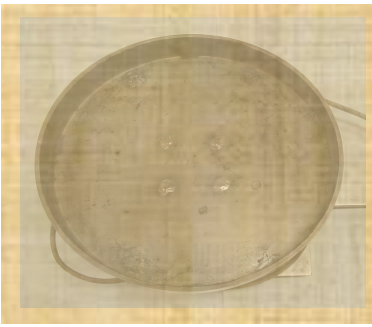


Fig11. The photograph after ignition and fire extinguishing



# 燃烧試験姿 (2/3)

## — ISO 5660コーンカロリメータ試験 —

### — Solid materials —

Mold Resin

Insulation Wood

Gypsum Board

Wood

10 mm

20mm

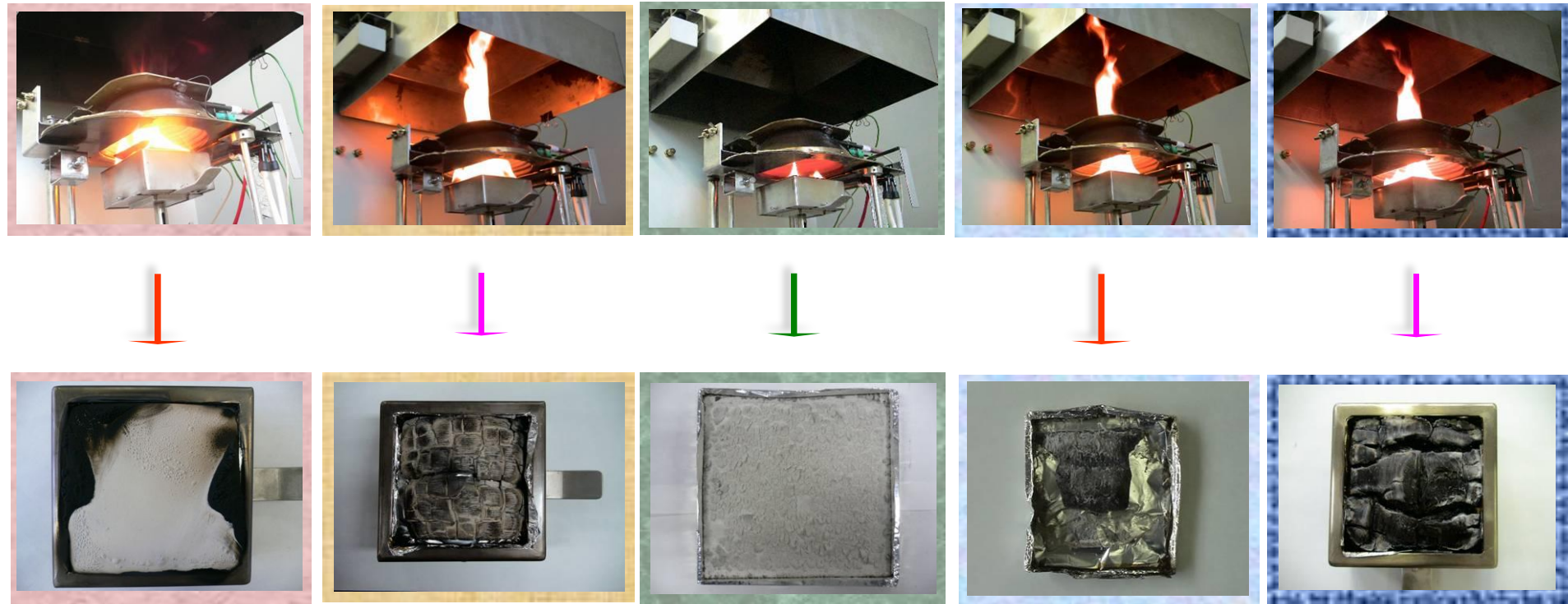


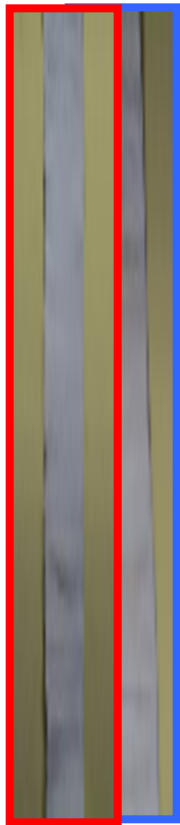
Fig12. The photograph after ignition and fire extinguishing

# 燃烧試験姿(3/3)

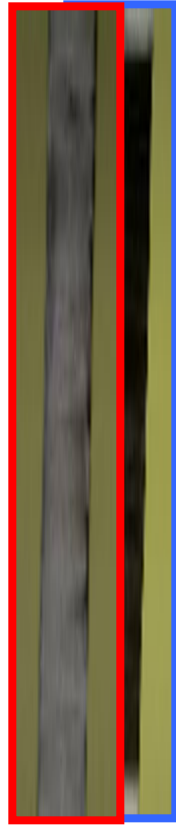
18

## — JIS C 2101 ガラステープ法 —

20cSt Silicone  
liquid



Mineral Oil



Polyol  
Ester Oil



Synthetic  
Ester Oil



Natural  
Ester Oil

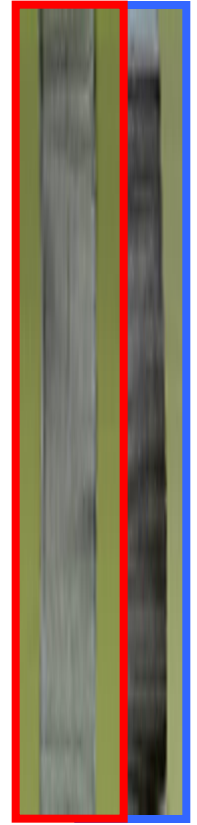


Fig13. The photograph of glass tape after a combustion rate examination

# 4. 試験結果（発熱性）

## — ISO 5660コーンカロリメーター試験 —

Radiant heat flux : 50kW/m<sup>2</sup>

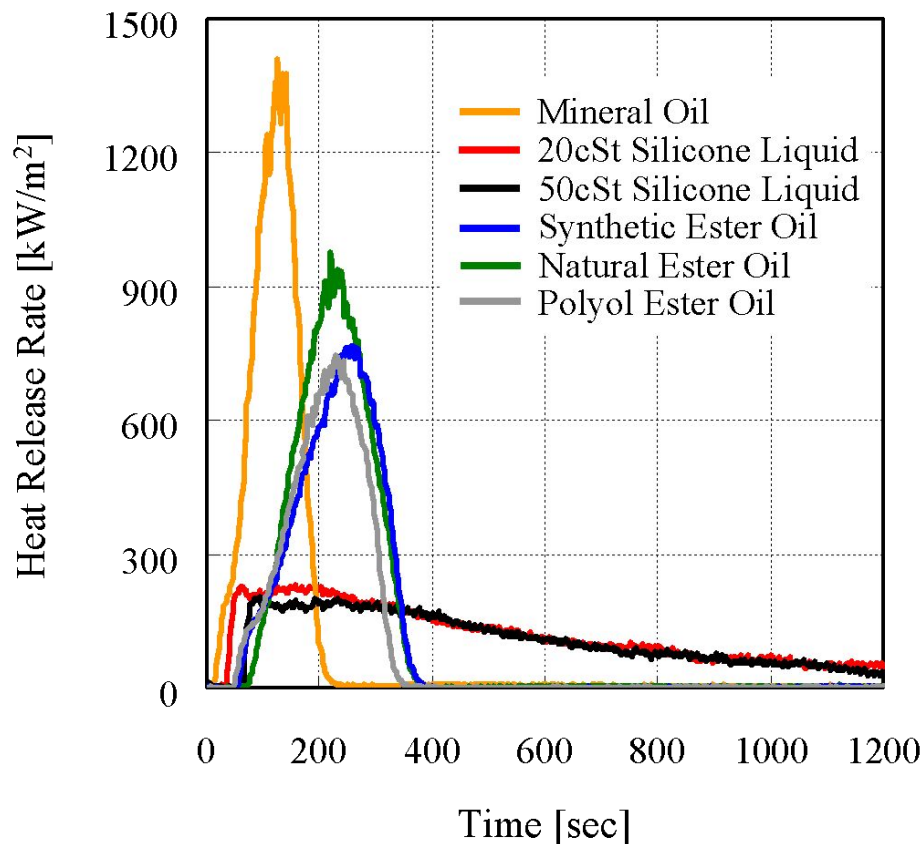


Fig14. Time histories of the heat release rate of fluids.

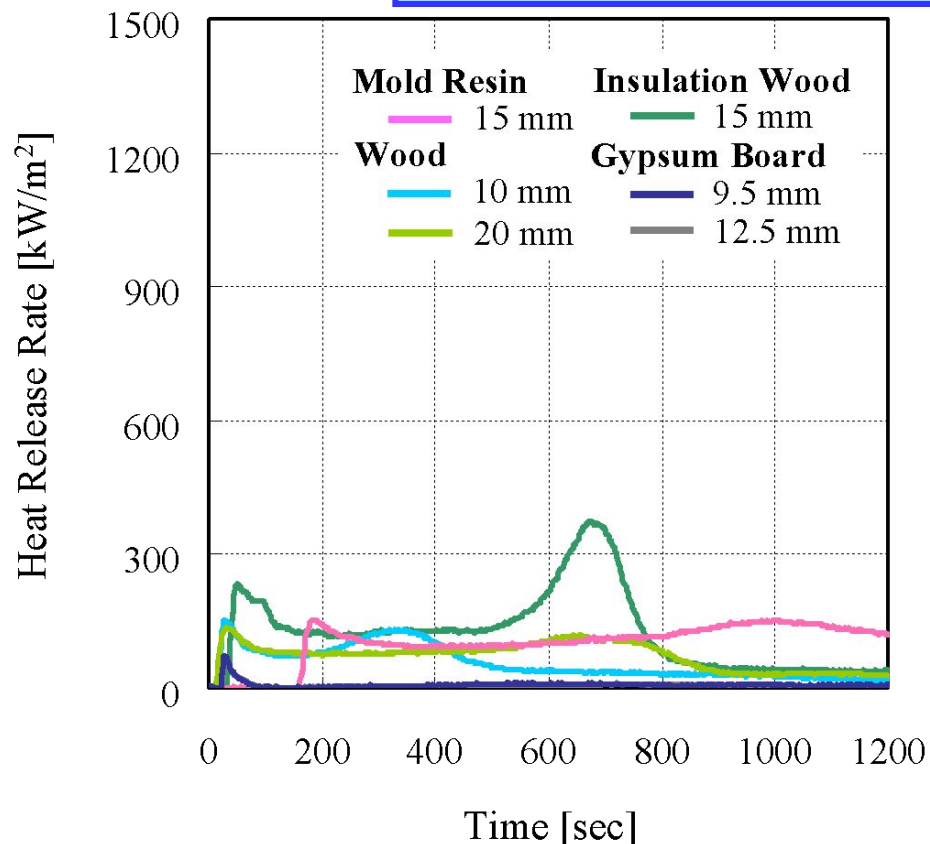


Fig15. Time histories of the heat release rate of solid materials.

# 4. 試験結果 (発煙性)

## — ISO 5660コーンカロリメーター試験 —

20

Radiant heat flux: 50kW/m<sup>2</sup>

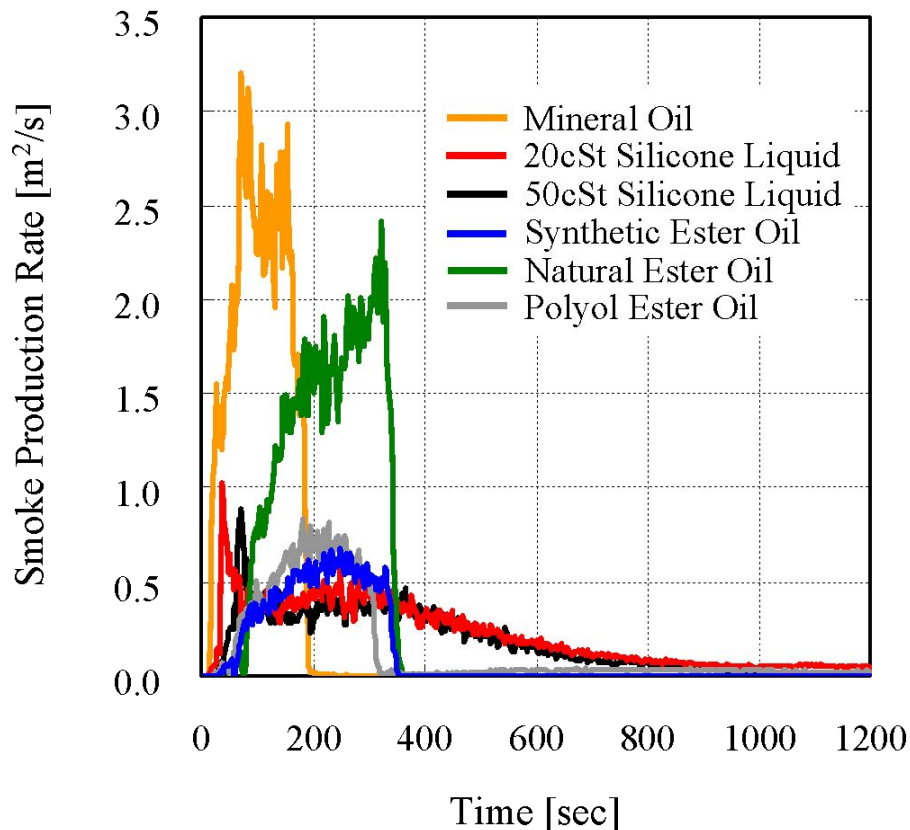


Fig16. Time histories of the smoke production rate of fluids.

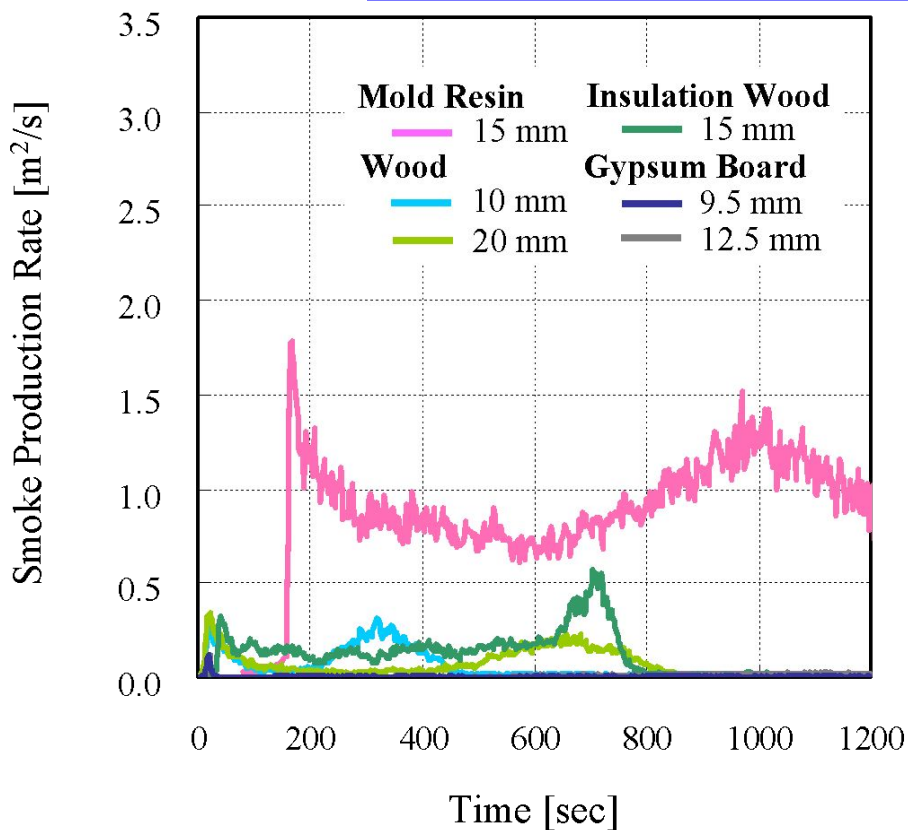


Fig17. Time histories of the smoke production rate of solid materials.

# 4. 試験結果 - まとめ -

21

JIS C 2101

ISO 5660

Comparison

Proposal

Table2. Flame propagation velocity of each oil

Sample	Flame propagation velocity [mm/sec]						
	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	Ave.	Std.
Mineral Oil	6.8	7.1	7.4	6.4	6.6	6.9	0.4
20cSt Silicone Oil	3.0	3.7	3.3	3.9	2.6	3.3	0.5
Synthetic Ester Oil	3.4	3.3	3.6	3.1	3.3	3.3	0.2
Natural Ester Oil	2.1	2.0	2.1	2.2	2.3	2.2	0.1
Polyol Ester Oil	3.8	4.0	4.3	3.7	5.1	4.2	0.6

Mineral oil > Polyol ester oil > 20cSt silicone liquid > Synthetic ester oil > Natural ester oil



# 4. 試験結果(火炎伝播性) — JIS C 2101 ガラステープ法 —

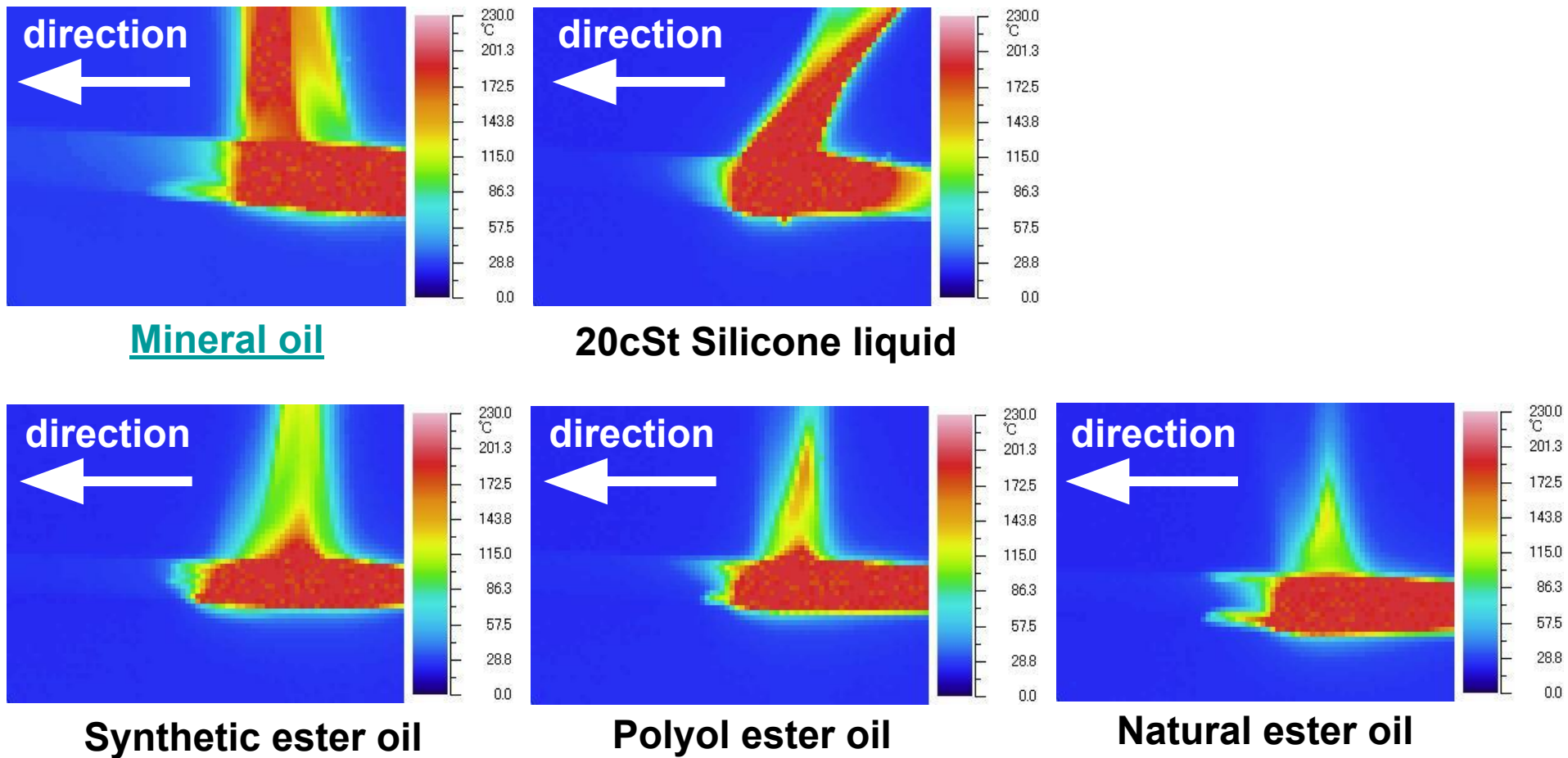


Fig20. Preheat to occur in a progress direction of a flame

# 5. 考察とまとめ(1/2)

## 【1】「絶縁性液体の難燃性評価法確立」

No	検討内容	結果
①	難燃性評価可能な「固体材料」との燃焼時の性状比較	提案法ISO法(コーンカロリーメーター法)によれば難燃性評価可能な「固体材料」と同様に熱物性値( $\lambda_{pc}$ )により絶縁性液体の着火時間の推定が可能である。【着火性:Fig.10参照】
②	現行法JIS法(ガラステープ法)による高引火点絶縁性液体(IEC-TS-60076-14相当)の燃焼性確認と試験法問題点の把握	実用性:現行法JIS法(ガラステープ法)に使用するテープが入手困難で実験自体が困難。 試験結果:50cStシリコン液以外では燃焼性試験が可能で、各絶縁性液体の熱慣性と火炎伝播速度の關係に良い相関性有り。【火炎伝播性:23頁参照】
③	現行法JIS法(ガラステープ法)と提案法ISO法(コーンカロリーメーター法)との試験結果比較	JIS法(ガラステープ法)は火炎伝播速度の大小評価は可能で、低粘度の油はガラステープから滴下し、火炎形成に寄与せず実験結果に誤差が生じやすい。一方、ISO法(コーンカロリーメーター法)は伝熱機構が明白で熱慣性によって燃焼性が定量評価可能で測定誤差小。【火炎伝播性:23頁参照】

以上より、『絶縁性液体の難燃性評価法』を検討した結果、「着火性」、「発熱性」、「火炎伝播性」、「発煙性」の様々な火災時の現象が把握出来、かつ燃焼性の定量評価可能で、かつ測定誤差小さい提案法ISO法(コーンカロリーメーター法)が適法であることが確認出来た。

# 5. 考察とまとめ (2/2)

## 【2】「IEC60076-14相当 高引火点絶縁性液体の火災安全性評価」

検討内容	結果 (安全性高低順)
着火性	液体:天然エステル > 50cSt, or 20cStシリコン, 合成エステル, ポリオールエステル, > 鉱油 ●   ●   ●   固体:モルト樹脂      石膏ボード      木材(杉)
発熱性	液体:50cStシリコン > 20cStシリコン > ポリオールエステル > 合成エステル > 天然エステル > 鉱油 高い ← 火災が生じた際の安全性 ← 低い
発煙性	液体:50cStシリコン > 20cStシリコン > 合成エステル > ポリオールエステル > 天然エステル > 鉱油 固体:シリコン液は木材(杉)絶縁木, モルト樹脂より安全性高い 高い ← 火災が生じた際の非難行動上の安全性 ← 低い
火災伝播性	ガラステープ法液体:天然エステル > 20cStシリコン液, 合成エステル > ポリオールエステル > 鉱油 液体:20cStシリコン液 > ポリオールエステル > 合成エステル > 天然エステル > 鉱油

以上より、高引火点絶縁性液体の燃焼性試験を実施した結果、総合的にはシリコン液の火災安全性(発煙性、発熱性)他が高いことが確認出来た。



## 1 Ignitability

- Flash point
- Critical radiant heat flux

## 2 Flame propagation

- Thermal inertia ( $\lambda\rho c$ )

## 3 Heat release propagation

- Peak heat release rate
- Total heat release

## 4 Smoke evolution

- Peak smoke production rate
- Total smoke production

## 5 Environmental friendliness

**ご清聴ありがとうございました。**