

北川式ガス検知管の性能比較に関する検証

山本 洋平*, 天野 恭平**, 望月 真***, 清水 崇一*

概 要

当庁では、火災調査現場において、ガソリンや灯油等の助燃剤の確認に鑑識用石油 P 型検知管を用いている。この検知管は、検知剤と低沸点の芳香族化合物との呈色反応によりガソリンと灯油を判別できるとされているが、助燃剤の種類によっては類似した色を呈する等の要因から、助燃剤の種類を推定するのは困難である。

本検証では、代表的な 6 種類の助燃剤（ガソリン、灯油、軽油、重油、シンナー、エタノール）のガス濃度が 0.5ppm から高濃度域における 5 種類の検知管（鑑識用石油 P 型・P II 型、スチレン SB 型、ヘキサン SC 型、定性シンナー 290TH 型）の呈色特性を実験的に明らかにした。また、火災調査現場において、これらの検知管を使用して助燃剤の種類を迅速かつ正確に推定するための手順フローチャート及び検知管の色見本を提案し、火災現場の残渣物等を用いた試験によりそれらの一定の有効性を明らかにした。さらに、8 種類の合成樹脂等の燃焼分解生成物が検知管の呈色特性に与える影響を明らかにした。

1 はじめに

当庁では、火災調査現場において、ガソリンや灯油等の火災の延焼を助ける油（助燃剤）の確認に、鑑識用石油 P 型検知管（光明理化学工業株式会社製、以下「P 検知管」という。）を用いている。この検知管には、低沸点の芳香族化合物と呈色反応する検知剤が封入されており、この呈色反応によりガソリンと灯油を判別できるとされている¹⁾。しかし、灯油と軽油など、助燃剤の種類によっては類似した色を呈するほか、合成樹脂やゴム（以下「樹脂等」という。）の燃焼分解生成物にも反応するため、P 検知管のみで助燃剤の種類を推定するのは困難である。また、エタノール等のアルコール類には反応しないため、アルコール類が残渣物等に含有していても、その存在を確認することはできない。

火災調査現場で助燃剤の種類を推定できれば、油種を念頭に置いた火災調査事務が遂行できること等が期待される。

2 検証目的

本検証では、火災調査現場において、助燃剤の有無やその種類をより迅速かつ正確に推定する方法として、P 検知管の他に複数種の検知管を用いる方法に着目した。そこで、助燃剤及び樹脂等の種類・濃度に対する複数種の検知管の呈する色及び反応長（以下「呈色特性」という。）を実験的に明らかにし、助燃剤の推定に使用する手順フローチャート等を提案し、それらの有効性を明らかにすることを目的とした。

3 助燃剤・検知管・樹脂等の選定

(1) 助燃剤

一般に広く流通しており、放火等で使用される可能性がある常温で液体のものを選定条件として、表 1 に示す 6 種類の助燃剤（以下「検証助燃剤」という。）を選定した。

表 1 検証助燃剤の名称等 ²⁾⁻⁴⁾

助燃剤の名称	規格等	沸点 [°C]
ガソリン (自動車用)	JIS K 2202	40~220
灯油	JIS K 2203	145~270
軽油	JIS K 2204	175~370
重油 (A 重油)	JIS K 2205	300 以上
エタノール	富士フイルム和光純薬株式会社、試薬特級	78
シンナー	株式会社カンベパピオ、ラッカー用 組成 [%] キシレン : 34 エチルベンゼン : 32 酢酸ブチル : 20 エチレングリコールモノブチル エーテル : 7 イソブタノール : 7	108~171

(2) 検知管

反応対象物質等の特性を勘案し、併用することで検証助燃剤を推定できる可能性があるものとして、表 2 に示す P 検知管を含む 5 種類の検知管（以下「検証検知管」

*危険物質検証課 **赤坂消防署 ***葛西消防署

表2 検証検知管の名称等^{1)、5)}

検知管の名称	検知層の長さ[mm]	検知層の色	反応対象物質	反応原理
鑑識用石油P型 (P)	25	白色系	低沸点の芳香族化合物	・マルキス試薬（ホルムアルデヒドと濃硫酸の混合溶液）と芳香族化合物が反応する。この反応によりトリフェニル誘導体が生成すると考えられる。
鑑識用石油PⅡ型 (PⅡ)	80	白色系	低沸点の芳香族化合物	・芳香族化合物の存在で五酸化ヨウ素が還元される。 $I_2O_5 + H_2SO_4 + \text{芳香族化合物} \rightarrow I_2$
スチレンSB型 (スチレンSB)	90	白色系	スチレン	・発煙硫酸により重合物を生成する。 $C_6H_5CH=CH_2 + H_2SO_4 \cdot nSO_3 \rightarrow \text{重合物}$
ヘキサンSC型 (ヘキサンSC)	75	黄色系	ヘキサン	・ヘキサンの存在で酸化クロムが還元される。 $CH_3(CH_2)_4CH_3 + Cr^{6+} \rightarrow Cr^{3+}$
定性シンナー290TH型 (シンナーTH)	30	黄色系	エステル類 アルコール類	・ニクロム酸カリウムとエステル及びアルコール類ガスが接触し、酸化する。

という。)を選定した。

PⅡ検知管は、P 検知管と反応対象物質は同じで呈色特性によりガソリンと灯油を判別できる仕様になっている。P 検知管とは封入されている検知剤が異なり、検知層の長さも 80mm と長いので、P 検知管よりもガソリンと灯油を判別しやすいとされている。また、樹脂等の燃焼分解生成物には反応しにくいという特長をもつ⁶⁾。

P 検知管及びPⅡ検知管以外の3種類の検知管は、検証助燃剤に対して反応原理等から次の①から③のように呈色すると予想した。

①スチレンSB 検知管は、ガソリンで呈色し、灯油や燃焼分解生成物の芳香族化合物ではほぼ呈色しない。②ヘキサンSC 検知管は、エタノール以外の検証助燃剤で呈色するが、[灯油]と[軽油・重油]群を判別できる。③シンナーTH 検知管は、シンナー以外にエタノールでも呈色するためシンナーとエタノールの存在の確認に有効である。

以上のことから、検証検知管により助燃剤の種類を推定できる可能性がある。

(3) 樹脂等

国内生産量が多いもの、各分野で使用されているもの等を選定条件とし、表3に示す8種類の樹脂等を選定した。

表3 試験で使用する樹脂等の名称等

分類	略号	樹脂等の名称
熱可塑性樹脂	PE	ポリエチレン（低密度）
	PP	ポリプロピレン
	PVC	ポリ塩化ビニル
	PS	ポリスチレン
	ABS	アクリロニトリルブタジエンスチレン樹脂
	PET	ポリエチレンテレフタレート
熱硬化性樹脂	PF	フェノール樹脂
合成ゴム	NBR	アクリロニトリルブタジエンゴム

4 検知管の色の表現方法

(1) 色の定義

検知管の色の表現方法として、色名や写真を用いる方法がある。しかし、色名の場合、各個人で色彩感覚が異なる

等の要因から、色の見え方に多少のずれが生じる。また、写真の場合、写真機やプリンタの種類及びその設定条件によっては、実際の色とは異なる色になる恐れがある。

本検証では、検知管の色は色の三属性である色相（色味の違い）、明度（明るさの度合い）、彩度（色味の強さ、鮮やかさの違い）を知覚的にほぼ等歩度に尺度化して体系化し、表現方法を定めたマンセル表色系を用いた色票集⁷⁾（以下「検証色票集」という。）により定義した。マンセル表色系は、JIS Z 8721「色の表示方法—三属性による表示」として規格化されている。

ア 色相

色相は、R（赤）、Y（黄）、G（緑）、B（青）、P（紫）を主要5色相とし、それぞれの間際にYR、GY、BG、PB、RPを加えた10色相を基準として環状に時計回りに循環させて並べたものである。5R、5Y等の5のついた色相をそれぞれの中心の色相とし、その前後で隣接した色に似ている。検証色票集の色相は全部で24色相である。

イ 明度

明度は、色味がなく鮮やかさを持たない無彩色を基準とし、反射率0の理想的な黒を0、完全反射の理想的な白を10とし、実際に顔料で実現できる1.0から9.5までの範囲が色票化されている。検証色票集の明度は、無彩色は18段階（1.0から9.5までの0.5間隔）、有彩色は9段階（1.0から9.0までの1.0間隔）である。

ウ 彩度

彩度は、無彩色の彩度を0とし、等明度の無彩色から離れて特定の色相の特徴が強くなるにつれて、1、2、3、…、10というように彩度の尺度値が高くなる。実際の顔料で実現できる彩度は色相によって差があり、各色相の最も彩度が高い色の明度も色相によって異なる。検証色票集の彩度は、10段階で0～4までの1間隔と6～14までの2間隔がある。

(2) 色の表示方法

マンセル表色系の色の表示方法は、例えば色相5R、明度4、彩度14の場合は、「5R4/14」と表示する。本検証では、この色の三属性の値（以下「マンセル値」という。）を指標とし、次に示す手順で検知管の色を決定後、各検知管の呈色特性を比較するとともに、検知管の呈色特性を表す色

見本を作成した。

まず、試験者3名で、試料ガス通気後の検証検知管の色を、検証色票集を使ってマンセル値で記録し、平均値を算出した後、この平均マンセル値を日本塗料工業会のペイントカラー検索システム⁸⁾を用いてRGB値に変換することで、パソコン上で管理・表現した。その後、カラープリンタ(富士ゼロックス株式会社製、DocuPrint3100)を用いてできる限り原色に近い色になる条件で印刷し、検知管の呈色特性を表す色見本を作成した。

RGB値は、光の三原色でRは赤、Gは緑、Bは青を表し、テレビやモニターの画像処理に使用されている⁹⁾。

なお、検知管の反応長についてもマンセル値と同時に呈する色ごとに記録し、試験者3名の平均値をその色の反応長とした。

本報において、色相は、色相値又はRは「赤色系」、Yは「黄色系」、YRは「赤黄色系」というように記載し、5YR、5Yなどそれらの中心の色相を基準に、7.5YRであれば「黄寄りの赤黄色系」というように記載する。また、明度及び彩度は数値又は高低で示す。

5 試験方法

(1) 助燃剤に対する検知管の呈色特性確認試験

ポリフッ化ビニル樹脂製の袋に検証助燃剤をそれぞれマイクロシリンジで注入し、その内部を屋外の新鮮な空気で満たした。その後、一定時間放置し見た目上完全に気化させることで、助燃剤ガス濃度が0.5ppm、1ppm、2ppm、4ppm、10ppmの試料ガスを調製した。また、容量30mLのガラス容器に0.5mLの検証助燃剤をそれぞれ入れ蓋をした状態で一定時間放置させることで、高濃度の試料ガス(以下「高濃度ガス」という。)を調製した。

調製した試料ガスをガス採取器(光明理化学工業株式会社製、AP-20)により検証検知管に通気させた後、直ちに呈色特性を記録し、検知管の色見本を作成して呈色特性を比較した。検知管に試料ガスを通気させている状況を写真1に示す。

なお、本試験及び以後の試験は、室内温度を $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ で管理した実験室内で行った。また、本報で示す助燃剤ガス濃度(ppm)は、袋の体積に対する助燃剤の液量(体積)を示す。

本試験結果を基に、検証助燃剤を推定するための手順フローチャート及びこれと併せて使用する検知管の色見本を作成した。

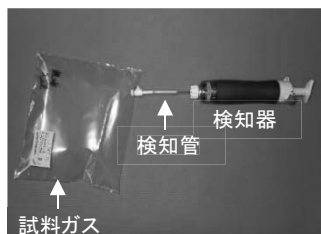


写真1 検知管に試料ガスを通気している状況

(2) 手順フローチャート及び色見本の有効性の評価

火災鑑定物件として持ち込まれた任意の袋等に入った液体及び残渣物(以下「残渣物等」という。)を実験環境下で一定時間静置させた後、内部のガスを検証検知管に通気させた。その後、前の試験と同様に検知管の色見本を作成し、手順フローチャート等を用いて残渣物等に含まれる助燃剤を推定した。また、ガスクロマトグラフ質量分析装置(以下「GC-MS」という。)を用いて、表4に示す条件で油分の成分分析を行い、分析結果と推定結果を比較することで、手順フローチャート等の有効性を評価した。

表4 GC-MSの測定条件等

測定条件等			
使用機器	7890A GC System・5975C inert XL MSD (アジレント・テクノロジー社)		
カラム	DB-1HT(長さ30m、内径0.25mm、膜厚0.10 μm)		
オープン温度範囲	40 $^{\circ}\text{C}$ ~300 $^{\circ}\text{C}$	検出器温度 (イオン源)	230 $^{\circ}\text{C}$
昇温速度	5 $^{\circ}\text{C}$ /分	検出器温度 (四重極)	150 $^{\circ}\text{C}$
注入口温度	280 $^{\circ}\text{C}$		
スプリット比	20:1 又は スプリットレス	キャリアーガス	ヘリウム
検出器	MS (質量分析器)	注入量	2 μL

(3) 樹脂等の燃焼分解生成物に対する検知管の呈色特性確認試験

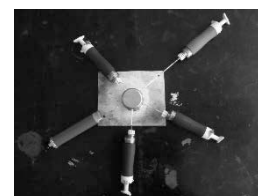
8種類の樹脂等の標品(厚さ2mm)をそれぞれ縦1cm、横1cmに調整したものを燃焼皿に置き、点火器具を用いて表5に示す条件で加熱後、直ちに燃焼皿ごと容量約350cm³の円柱形で金属製の容器で覆い30秒間静置させた。その後、容器側壁に等間隔に設けた5つの穴に検証検知管を差し込み、内部のガスを同時に通気させた。上述の試験と同様、検知管の色見本を作成し呈色特性を比較した。本試験の状況を写真2に示す。

表5 樹脂等の加熱条件

条件			
火炎長	約7cm	炎と試料の接触面積	約1cm ²
火炎接触角度	約30 $^{\circ}$	火炎接触時間	30秒



樹脂(ABS)の加熱



検証検知管への通気

写真2 樹脂の加熱及び検証検知管への通気状況

(4) 樹脂等の燃焼分解生成物存在下における助燃剤に対する検知管の呈色特性確認試験

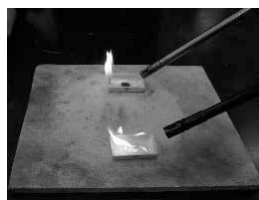
樹脂等と助燃剤をそれぞれ別々の燃焼皿に設定し、樹

脂等は表5、助燃剤は表6に示す条件で点火器具を用いて加熱後、直ちに両方の燃焼皿を前の試験で用いた金属製の容器で覆い30秒間静置させた。その後、容器側壁の穴にP検知管を差し込み内部のガスを通気させた。上述の試験と同様、検知管の色見本を作成し呈色特性を比較した。本試験の状況を写真3に示す。

なお、本試験では樹脂等としてPE、PS、ABS、PF及びNBRの5種類、助燃剤としてガソリン及び灯油の2種類を用いた。

表6 ガソリン及び灯油の加熱条件

条件	
火炎長	ターボ式
火炎接触角度	約30°
炎と試料の接触面積	約1cm ²
火炎接触時間	ガソリン：20秒 灯油：30秒
助燃剤の量	ガソリン：60μL 灯油：10μL



樹脂（PS）とガソリンの加熱



P検知管への通気

写真3 樹脂とガソリンの加熱及びP検知管への通気状況

6 試験結果及び考察

(1) 助燃剤に対する検知管の呈色特性

検証検知管の呈色反応の有無を表7に、検証助燃剤の各濃度における検証検知管の色見本の例として、P検知管の色見本を図1、PⅡ検知管の色見本を図2に示す（全濃度において反応しなかったエタノールを除く）。

なお、本報で示す色見本中の横軸は検知層の長さ[mm]、エラーバーは標準偏差、英数字は色相を示す。

検証検知管の反応長は、検証助燃剤の種類によらずそのガス濃度と正の関係、即ち、ガス濃度が高くなれば検知管の反応長も長くなる関係にあった。

P検知管及びPⅡ検知管は、エタノール以外の検証助燃剤で呈色した。また、PⅡ検知管は、軽油及び重油の濃度0.5ppmで呈色しなかった。この結果は、PⅡ検知管は、P検知管よりも感度（検出能力）が低いことを示唆している。P検知管及びPⅡ検知管に反応する検証助燃剤の反応長の順位は、各濃度で、ガソリン≒シンナー>灯油>軽油≒重油となっており、概ね沸点（表1）と負の関係にある。このことから、これらの検知管の反応長は、助燃剤に含まれる低沸点の芳香族化合物の成分比に依存していると思われる。

ア P検知管

ガソリンは、全濃度で反応し、濃度10ppm以上で検知層全体が反応した。濃度0.5ppmでは全体的に赤黄色系に、濃

度1ppmでは入口から赤黄寄りの黄色系、赤黄色系に、濃度2、4及び10ppmでは全体的に黄寄りの赤黄色系（濃度10ppmの前半部分のみ赤黄寄りの黄色系）に、高濃度ガスでは入口から黄寄りの赤黄色系、赤黄寄りの黄色系に呈色した。全体的に黄、赤黄色系に呈色すること及び濃度が低くなるにつれて呈する色が赤寄りにシフトする結果は、仕様等^{1)、10)}と一致する。

灯油は、高濃度ガスでは黄寄りの赤黄色系に、濃度1ppmでは赤黄寄りの黄色系に一樣に呈色した。それ以外の濃度では入口付近に黄寄りの赤黄色系に数mm呈色した後、赤黄寄りの黄色系（濃度0.5ppmのみ黄寄りの赤黄色系）に呈色した。その呈色幅は入口付近の色の方が短かった。色調は仕様等^{1)、10)}と類似している。ガソリンと異なるのは、高濃度ガスでは一樣に黄寄りの赤黄色系に呈色し、濃度10ppm以下（濃度1ppmを除く）では入口付近が黄寄りの赤黄色系に数mm呈色した後、ガソリンよりも黄寄りの色を呈することである。

軽油は、濃度0.5ppm及び高濃度ガスでは全体的に黄寄りの赤黄色系に、濃度1ppm及び4ppmでは入口から黄寄りの赤黄色系、赤黄寄りの黄色系に、濃度2ppm及び10ppmでは入口から赤黄色系、黄寄りの赤黄色系、赤黄寄りの黄色系に呈色し、その呈色幅は入口付近の色の方が短かった。この呈色特性は、灯油と類似している。重油の場合も、全濃度において灯油と軽油に類似した呈色を示した。

シンナーは、高濃度ガスではほぼ検知層全体が呈色した。また、全ての濃度において、入口から黄寄りの赤黄色系に呈色し、後半部分にはそれよりも赤寄りの赤黄色系の呈色が数mm認められた。この呈色特性は、ガソリン、灯油、軽油及び重油の呈色特性とは異なる。

イ PⅡ検知管

ガソリンは、全濃度で反応し、濃度10ppm以上ではほぼ検知層全体が呈色した。濃度1ppmでは黄寄りの赤黄色系に、濃度0.5ppmでは赤黄色系に数mm呈色するのみであった。濃度2ppm以上では、入口から赤黄寄りの黄色系又は黄寄りの赤黄色系に呈色後、濃度2ppmでは赤黄色系、黄寄りの赤黄色系、濃度4ppm及び高濃度ガスでは黄寄りの赤黄色系、濃度10ppmでは赤黄色系、赤黄寄りの赤黄色系の比較的光度が高く彩度が低い色にそれぞれ順に呈色した。入口付近の呈色はガソリンの特徴で、エチルベンゼン等の成分によるものと考えられる^{5)、6)}。

灯油は、ガソリンと同様に全濃度で反応し、高濃度ガスのみほぼ検知層全体が呈色した。濃度0.5ppm及び1ppmでは、ガソリンと類似した色に1、2mm呈色したが、濃度2ppm以上では、入口付近は赤黄色系又は黄寄りの赤黄色系に呈色しており、入口から離れるにつれて赤寄りに色相がシフトし、最後は再び黄寄りの色に呈色した。入口付近の呈色は灯油の特徴である^{5)、6)}。

軽油は、濃度1ppm以上で反応した。仕様⁵⁾ではP検知管と同様、灯油と同等に呈色するとされているが、濃度2ppm以上で、入口付近が黄寄りの赤黄色系（高濃度ガス

の一部は赤黄色系)に呈色した後、色相が入口付近よりも黄寄りにシフトした、比較的明度が高く、彩度が低い色を呈した。また、入口付近の色の呈色幅は、後半部分の色の呈色幅よりも短くなった。これらの呈色特性は、濃度 2 ppm 以上の重油にも認められた。軽油と重油で異なる点は、重油は濃度 1 ppm では反応しないこと及び高濃度ガスにおいて、重油の反応長は軽油の約 1/2 であることである。

シンナーは、全ての濃度において明度が 5 又は 6、彩度が 3 又は 4 の黄寄りの赤黄色系又は赤黄寄りの黄色系に呈しており、他の検証助燃剤とは異なる呈色を示した。この呈色は、シンナーの含有成分の種類が 5 種類と、他の助燃剤と比較して少ないこと及び主成分が芳香族化合物であるキシレン及びエチルベンゼンであること(表 1)から、これらの芳香族化合物の呈色が顕著に現れたものと推測される。石澤ら⁶⁾によると、PⅡ検知管は、キシレンは褐色、エチルベンゼンは黄色に呈色する。

ウ スチレン SB 検知管

ガソリンで反応し灯油等では反応しないという前 3 (2)の予想に反して、ガソリンの他に灯油、軽油及び重油の高濃度ガスで呈色した。小川¹¹⁾によると、軽油には微量のスチレンが含まれている。よって、軽油の呈色はこのスチレンによるものと考えられる。また、同検知管は、スチレンのような重合反応が起こる物質が存在すれば呈色することから、灯油及び重油についてもスチレンが微量に含まれている可能性があるほか、スチレン以外の重合反応が起こる物質に反応し呈色した可能性がある。ガソリンは、濃度 1 ppm 以上で呈色しており、高濃度ガスでは検知層全体が呈色した。呈色の色は、ほぼ黄色系(高濃度ガスの後半部分のみ赤黄寄りの黄色系)であった。

エ シンナー TH 検知管

前 3 (2)で予想したとおり、シンナー、エタノールに反応したが、エタノールは濃度 0.5 ppm、シンナーは濃度 1 ppm 以下で反応しなかった。シンナー、エタノールともに入口から、濃度 10 ppm 以下では無彩色系に、高濃度ガスでは青色系に呈色したが、エタノールの高濃度ガスは、その呈色後、検知剤の色 (2.5Y8/14) よりも彩度が 4 段

階低い赤黄寄りの黄色系に呈色した。反応長はいずれの濃度においてもエタノールの方が長い。ガソリンの高濃度ガスでは入口付近が無彩色系に呈色後、検知層全体が赤黄寄りの黄色系に呈色した。このガソリンの呈色は、微量に含有しているエタノール(含有量 $\leq 10\text{vol}\%$ 、又は $3\text{vol}\%$)¹²⁾によるものであると推測される。

同検知管は、アルコール類に反応するため、メタノールやプロパノールにもエタノールと類似した呈色反応を示すと考えられる。

オ ヘキサン SC 検知管

前 3 (2)で予想したとおり、エタノール以外の検証助燃剤の全濃度で反応した。ガソリンは高濃度ガスでは、他の濃度とは異なり検知層全体が黄色系に呈色した。濃度 2 ppm から 10 ppm では、入口から黄寄りの赤黄色系又は赤黄寄りの黄色系に呈色後、緑寄りの緑黄色系又は青色系に呈色した。灯油は、濃度 2 ppm 以上で、ガソリンに類似した色を呈したがいずれの濃度においても 2 色に呈色した。軽油及び重油は、高濃度ガスで灯油に似た色を呈したが、濃度 10 ppm 以下では入口付近が赤黄寄りの黄色系又は黄寄りの赤黄色系に呈色するのみであった。シンナーは、他の検証助燃剤とは異なり、濃度に関係なく明度、彩度がともに低い赤黄寄りの黄色系又は黄寄りの赤黄色系に呈色した。濃度 1 ppm 以下では、灯油の濃度 1 ppm を除いて、いずれの検証助燃剤も入口付近が明度と彩度が類似した黄寄りの赤黄色系又は赤黄寄りの黄色系に呈色した。灯油の濃度 1 ppm は入口から黄寄りの赤黄色系、黄色系に呈色した。

カ 手順フローチャート及び色見本の作成

上述の試験結果から、容器内の液体を検査する場合(図 3)と残渣物等を検査する場合(図 4)に分けて助燃剤を推定するための手順フローチャートを作成した。また、手順フローチャートと一緒に使用する検知管の色見本①から④を作成した。色見本①は、高濃度ガスにおける検証検知管の色見本を、色見本②から④は、全濃度における検証検知管の色見本を組み合わせたものである。例として色見本①を図 5 に示す。

表 7 検証助燃剤の濃度に対する検証検知管の呈色反応の有無

	ガソリン						灯油						軽油						重油						シンナー						エタノール						
助燃剤濃度 [ppm]	0.5	1	2	4	10	高濃度ガス	0.5	1	2	4	10	高濃度ガス	0.5	1	2	4	10	高濃度ガス	0.5	1	2	4	10	高濃度ガス	0.5	1	2	4	10	高濃度ガス	0.5	1	2	4	10	高濃度ガス	
P	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
PⅡ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
スチレンSB	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
シンナーTH	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	
ヘキサンSC	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×

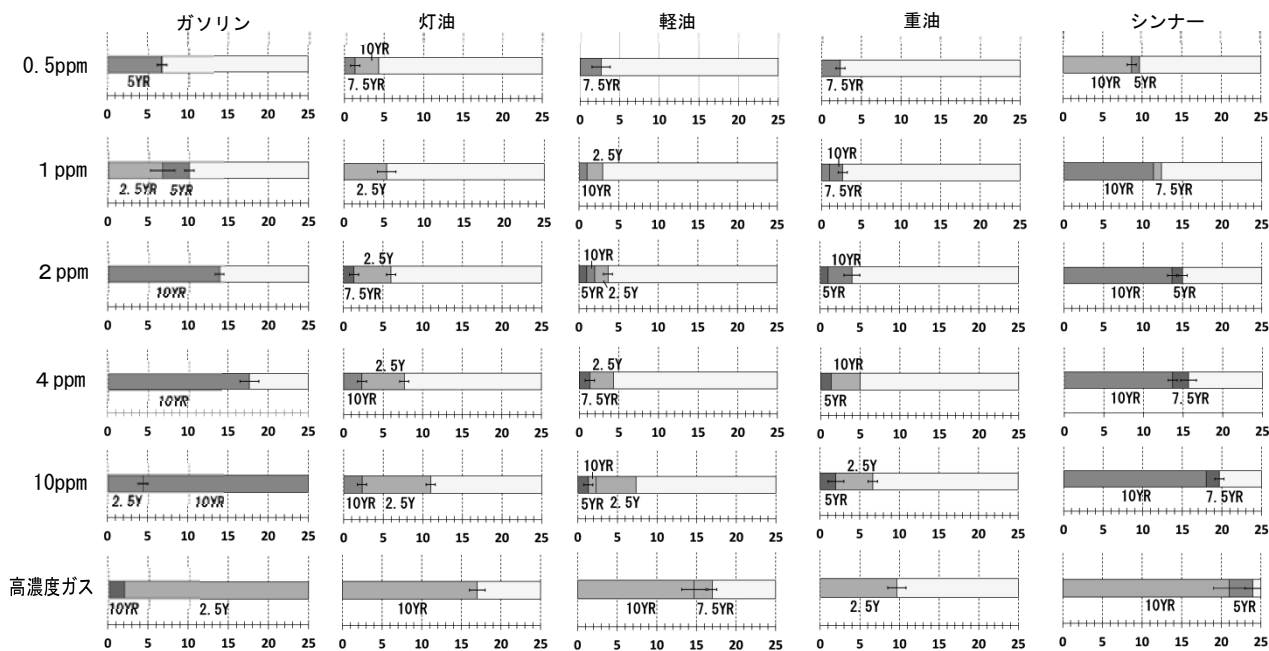


図1 検証助燃剤の各濃度におけるP検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）

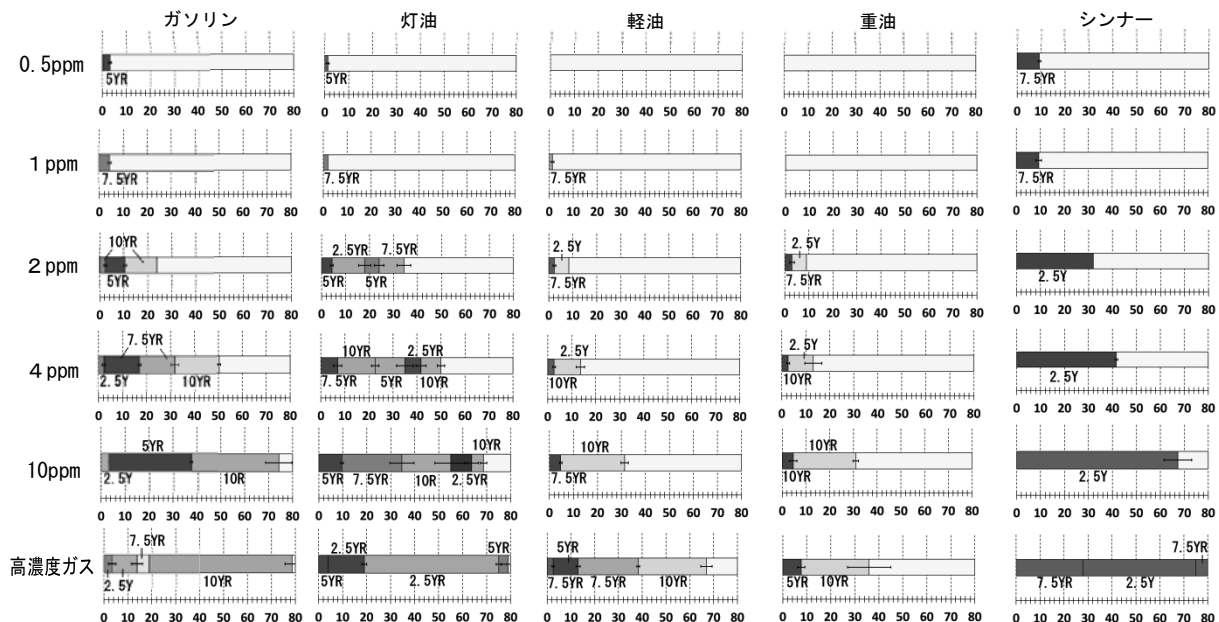


図2 検証助燃剤の各濃度におけるPII検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）

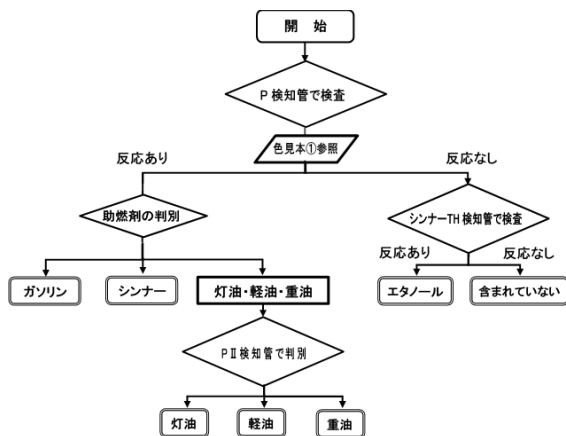


図3 手順フローチャート（容器内の液体を検査する場合）

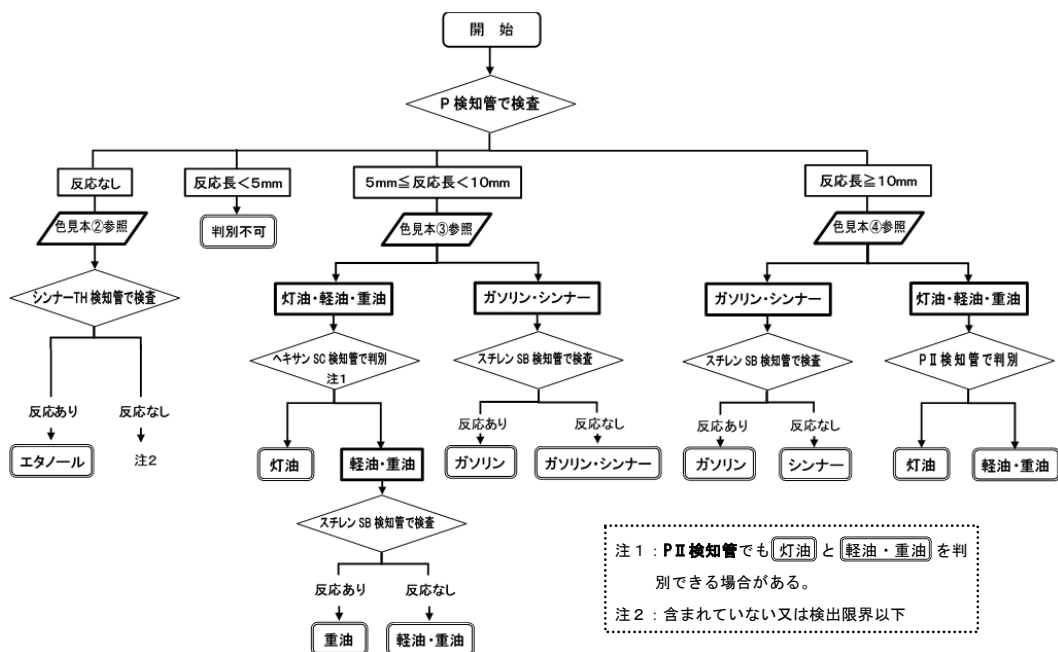


図4 手順フローチャート（残渣物等を検査する場合）

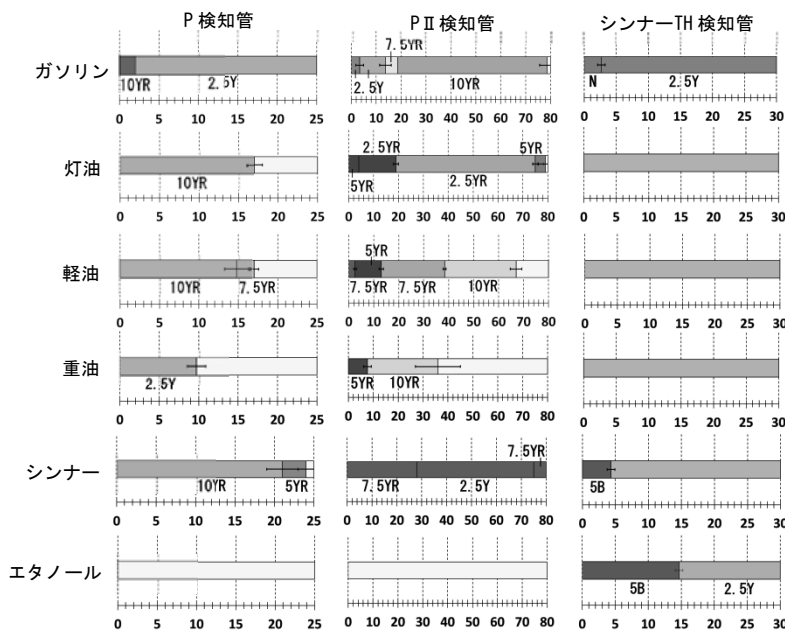


図5 色見本①（高濃度ガスにおける検証検知管の色見本）

(2) 手順フローチャート及び色見本の有効性の評価

火災鑑定物件として持ち込まれた残渣物等の中で、P 検知管に反応があった液体2件、残渣物4件の計6件について手順フローチャート等により推定した結果と分析装置により分析した結果等を表8に示す。また、試験1及び試験5の検証検知管の色見本を図6に示す。

6件の試験のうち5件で、ガソリン又は灯油に限るが推定結果と分析結果が一致した。よって、本試験により手順フローチャートと色見本の一定の有効性が明らかになった。

なお、試験6は、P 検知管のみが反応しその反応長が2 mm であったため、推定結果は判別不可であったが、分析の結果、灯油が検出された。

表8 火災鑑定物件を用いた試験結果

試験番号	火災種別	物件種別	推定結果	分析結果
1	建物火災	液体	ガソリン	ガソリン
2		残渣物	ガソリン	ガソリン
3	建物火災	残渣物	灯油	灯油
4	建物火災	液体	灯油	灯油
5		残渣物	灯油	灯油
6	その他火災	残渣物	判別不可	灯油

(3) 樹脂等の燃焼分解生成物に対する検知管の呈色特性
8種類の樹脂等の燃焼分解生成物に対する検証検知管の呈色反応の有無を表9に、検証検知管の色見本を図7に示す。

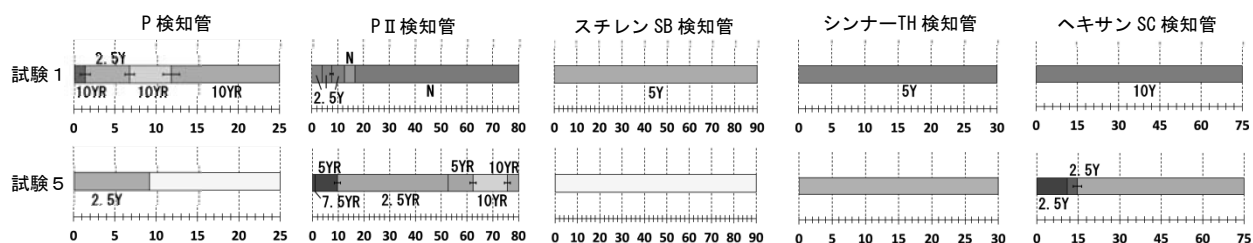


図6 試験1及び試験5の検証検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）



図7 樹脂等の燃焼分解生成物に対する検証検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）

表9 8種類の樹脂等の燃焼分解生成物に対する
検証検知管の反応の有無

	P 検知管	P II 検知管	スチレンSB 検知管	シンナーTH 検知管	ヘキサンSC 検知管
PE	○	○	○	○	×
PP	○	○	×	○	×
PVC	○	○	○	×	×
PS	○	○	○	×	○
ABS	○	○	○	×	○
PET	○	○	○	×	×
PF	○	○	○	○	×
NBR	○	○	○	○	○

樹脂等のうち、全ての検知管に反応したのはNBRのみであった。また、全ての樹脂等がP検知管及びP II検知管に反応し、P検知管は色相が2.5Yから2.5Yの単色か

ら4色に約5mm、P II検知管は色相が7.5YRから2.5Yの単色又は2色に5mm未満呈色した。検知層に対する反応長の割合がP検知管>P II検知管であることから、P II検知管よりもP検知管の方が樹脂等の燃焼分解生成物の影響を大きく受けると考えられる。P検知管の反応長が5mmを超えたのは、標準偏差を考慮すると、PVC、PS、ABS及びNBRであった。

検証助燃剤のうち主にガソリンにしか反応しないスチレンSB検知管は、PP以外の樹脂等で色相が5YRから5Yの単色又は2色に約6mmから47mm呈色した。反応長が40mm以上呈色したのはPS、ABS及びNBRであった。

シンナーTH検知管及びヘキサンSC検知管は、反応があったいずれの樹脂等も、前者は色相5YRから2.5Yの単色、後者は色相10YRから2.5Yの単色に約1mm呈色した。

(4) 樹脂等の燃焼分解生成物が助燃剤の検知管の呈色特性に与える影響

試験結果の例として、PE、ガソリン及び灯油を燃焼させ

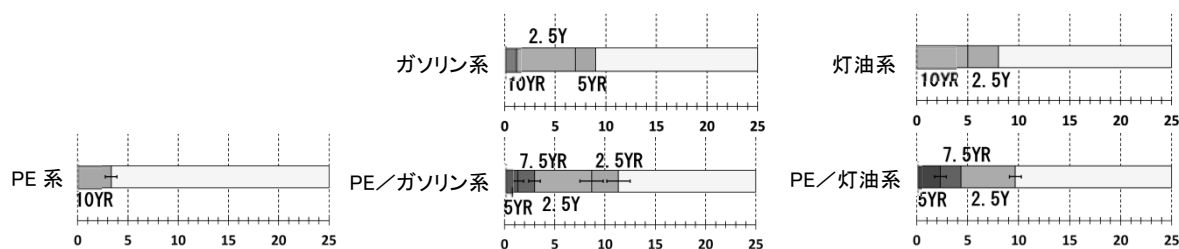


図8 PE系、ガソリン系、灯油系、PE／ガソリン系及びPE／灯油系のP検知管の色見本

た系並びにPE／ガソリン系、PE／灯油系のP検知管の色見本を図8に示す。

ガソリン系は、入口から黄寄りの赤黄色系、赤黄寄りの黄色系、赤黄色系に呈色した。PE系は、黄寄りの赤黄色系に約3mm呈色した。灯油系は、入口から黄寄りの赤黄色系、赤黄寄り黄色系に呈色した。PE／助燃剤系は、助燃剤系と比較して、いずれの助燃剤も入口付近のみ赤寄りにシフトした呈色を示した。なお、他の4種類の樹脂等(PS、ABS、PF及びNBR)の燃焼分解生成物についても、ガソリン及び灯油のP検知管の呈色特性に対して、呈する色や反応長が大幅に変わる等の大きな影響は与えず、入口から3mmから4mmの間で、赤寄りにシフトした呈色を示した。

7 まとめ

- (1) P検知管は、PⅡ検知管よりも低濃度で呈色するが、高濃度になるとPⅡ検知管の方が検証助燃剤を細かく判別できる。
- (2) P検知管は、[ガソリン・シンナー]群と[灯油・軽油・重油]群の判別に有効である。(容器内の液体を検査する場合は、[ガソリン]と[シンナー]を判別できる)
- (3) PⅡ検知管及びヘキサシアンSC検知管は、[灯油]と[軽油・重油]群の判別に有効である。(PⅡ検知管は、容器内の液体を検査する場合は、[軽油]と[重油]を判別できる)
- (4) スチレンSB検知管は、[ガソリン]、[灯油]、[軽油]及び[重油]の存在を確認するのに有効である。
- (5) シンナーTH検知管は、P検知管と併用することで、[エタノール]の存在を確認するのに有効である。
- (6) 助燃剤を推定するための手順フローチャート及び色見本を作成した。火災鑑定物件を用いた試験で、同チャート等によりガソリン及び灯油を推定でき、それらの一定の有効性が明らかになった。
- (7) 8種類の樹脂等の燃焼分解生成物に対する検証検知管の呈色特性を明らかにし、その色見本を作成した。
- (8) ガソリン及び灯油のP検知管の呈色特性は、PE、PS、ABS、PF及びNBRの燃焼分解生成物によって大きくは変化しないが、検知層の入口付近が赤寄りにシフトした色を呈する傾向がある。

8 おわりに

本検証により、ガソリン、灯油等の代表的な助燃剤及び樹脂等の燃焼分解生成物に対する複数種の検知管の呈色特性を明らかにした。また、より迅速かつ正確に助燃剤を推定

するための方法として、手順フローチャート等を活用した複数種の検知管を用いる方法を考案し、それらの一定の有効性を明らかにした。本検証で得られたこれらの知見は、火災調査業務、火災鑑定業務双方の更なる効率化等に資するものであり、ここに消防行政にとって本検証の意義があると考えられる。

9 謝辞

本検証の実施にあたり、消防庁消防研究センター主任研究官の尾川義雄先生より多くの貴重な知見を賜りました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 光明理化学工業株式会社：北川式ガス検知管取扱説明書 鑑識用石油(P型)290P
- 2) 富士フイルム和光純薬株式会社 エタノール試薬特級、安全データシート、2018
- 3) 奥吉新平ほか：甲種危険物試験合格大作戦、p.355, 362, 366, 374、弘文社
- 4) 株式会社カンペパピオ ラッカーうすめ液塗料用シンナー、安全データシート、2017
- 5) 光明理化学工業株式会社：北川式ガス検知管取扱説明書 鑑識用石油(PⅡ型)、ヘキサシアン(SC型)、スチレン(SB型)、定性シンナー(290TH型)
- 6) 石澤不二雄ほか1名：新型石油検知管の開発、Bulletin of Japan Association for Fire Science and Engineering、Vol.55、No.1、pp.29-32、2005
- 7) 一般財団法人日本色彩研究所：マンセルシステムによる色彩の定規拡充版、日本色研事業株式会社、2008
- 8) 一般社団法人日本塗料工業会：ペイントカラー検索システム (<http://www.toryo.or.jp/jp/color/color.html>)
- 9) 飯塚昌之ほか1名：光の三原色RGBを基準とした実用的なカラー変換式、照明学会誌、第84巻、第6号、pp.372-379、照明学会、2000
- 10) 石澤不二雄ほか1名：火災現場における低沸点鉱物油の簡易鑑別法について、火災、Vol.33、No.4(145)、pp.24-28、日本火災学会、1983
- 11) 小川忠男：ディーゼル排出ガスに及ぼす軽油性状の影響(第1報)軽油の分析・評価法の開発、豊田中央研究所R&Dレビュー、vol.32、No.2、pp.75-86、1997
- 12) 一般財団法人日本規格協会：JISハンドブック25石油、K2202、p.122、日本規格協会、2015

Study on the Comparisons of the Performance of Kitagawa Type Gas Detector Tubes

Youhei YAMAMOTO*, Kyouhei AMANO**, Makoto MOCHIZUKI***, Takaichi SHIMIZU*

Abstract

On fire investigation sites, the Tokyo Fire Department uses the petroleum P-type detector tube for identification to see the existence of combustion improvers such as gasoline and kerosene. This detector tube is said to distinguish gasoline and kerosene by the color reaction between a detection agent and the aromatic compounds with low boiling points. However, it is difficult to estimate some types of combustion improvers based on their colors, for example, since some of them exhibit similar colors.

This study used five types of detector tubes (petroleum P-type, PII-type, styrene SB type, hexane SC type, and qualitative paint thinner 290TH-type detector tubes) for the identification of six typical types of firework fuels (gasoline, kerosene, light oil, heavy oil, paint thinner, and ethanol) at the gas concentration from 0.5 ppm to higher levels, and experimentally clarified the coloration characteristics of the firework fuels. Furthermore, we proposed a procedure flow chart and the generation color samples of these detection tubes in order to quickly and accurately estimate each type of firework fuel on fire investigation sites. From a test using fire residues, we demonstrated the effectiveness of the procedure flow chart and color samples to a certain extent. Furthermore, we clarified the influence of combustion decomposition products, including eight types of synthetic resins, on the coloration characteristics of the detection tubes.

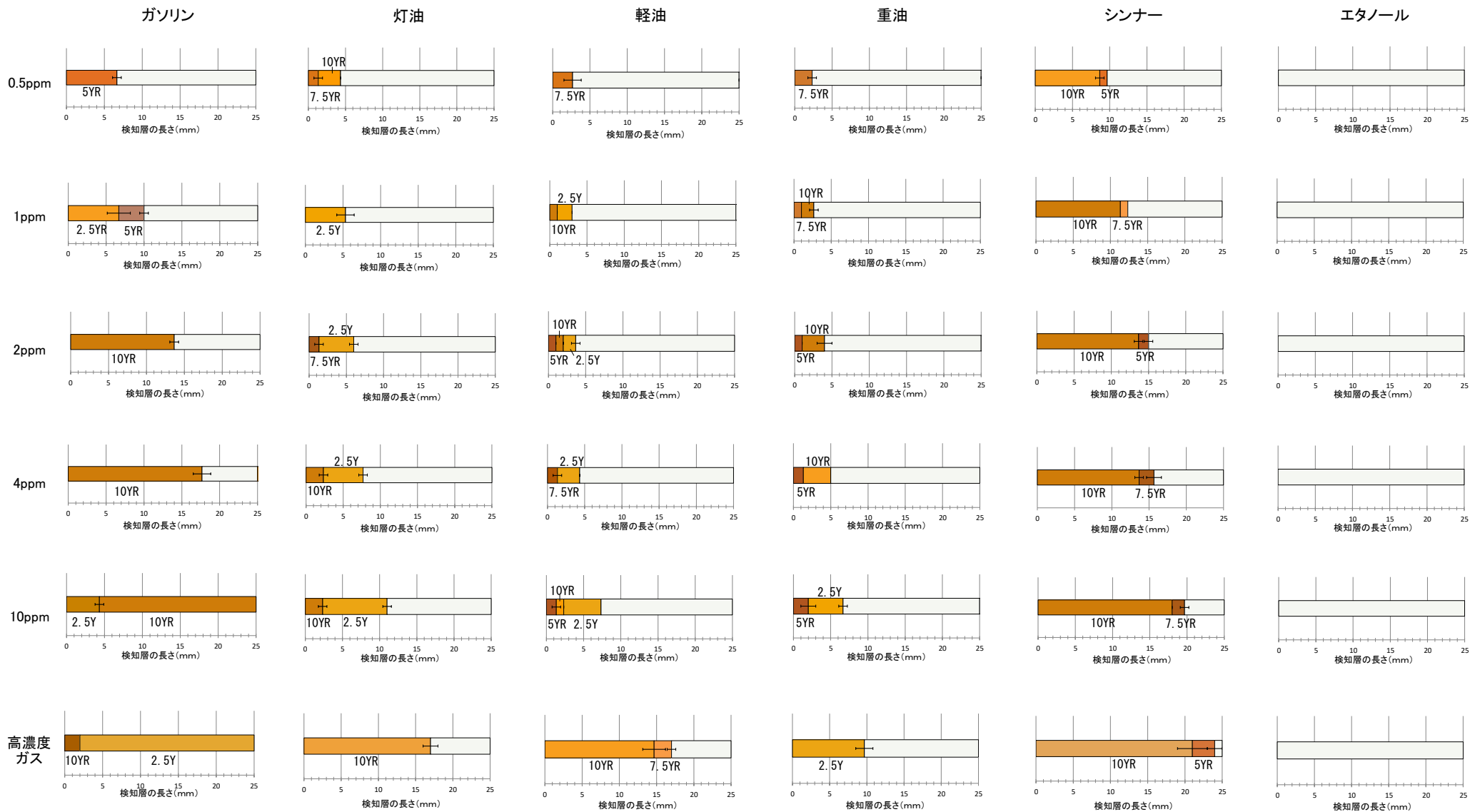
*Hazardous Materials Identification Section **Akasaka Fire Station ***Kasai Fire Station

付 録

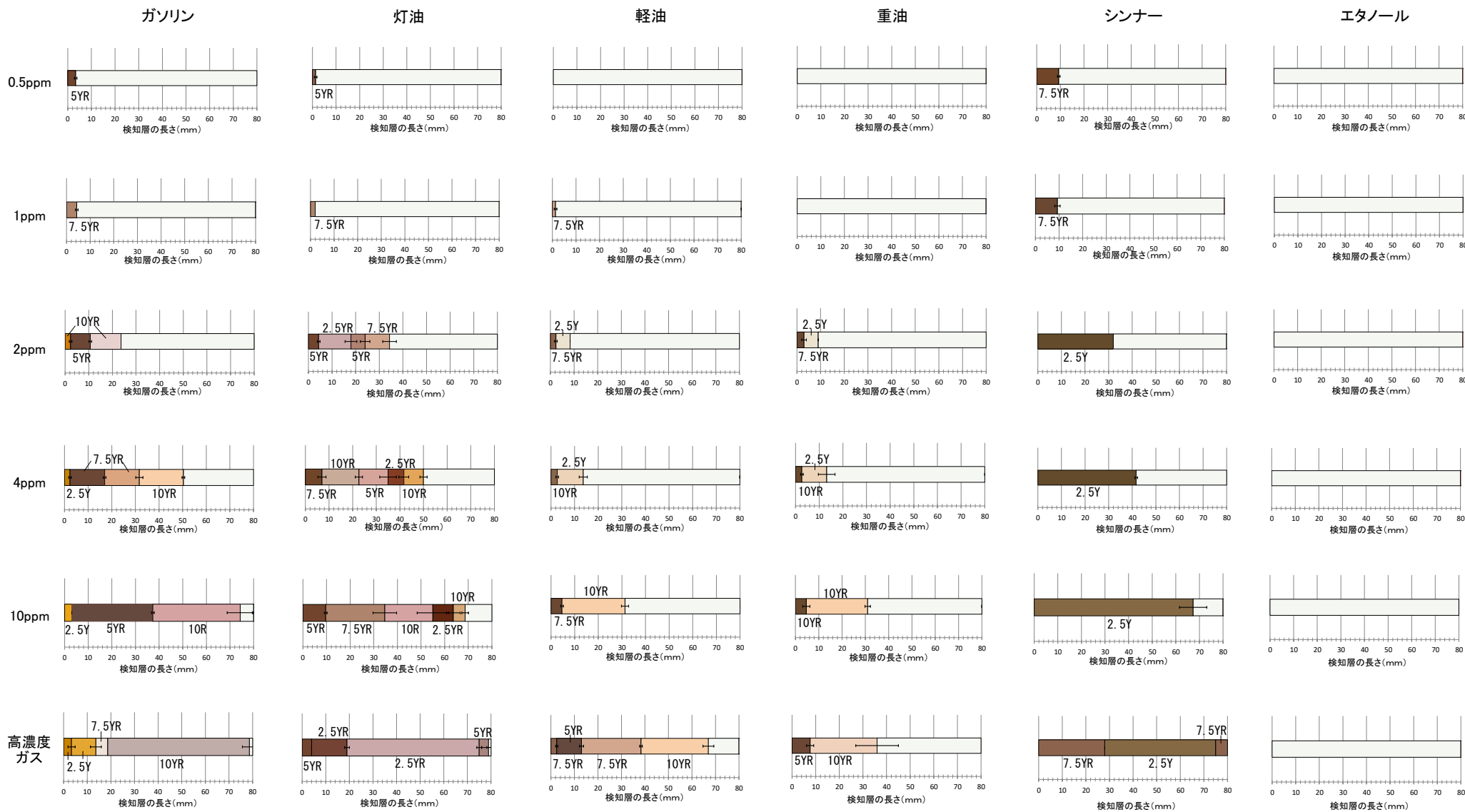
検知管の色見本及び手順フローチャート (カラー版)

注 意

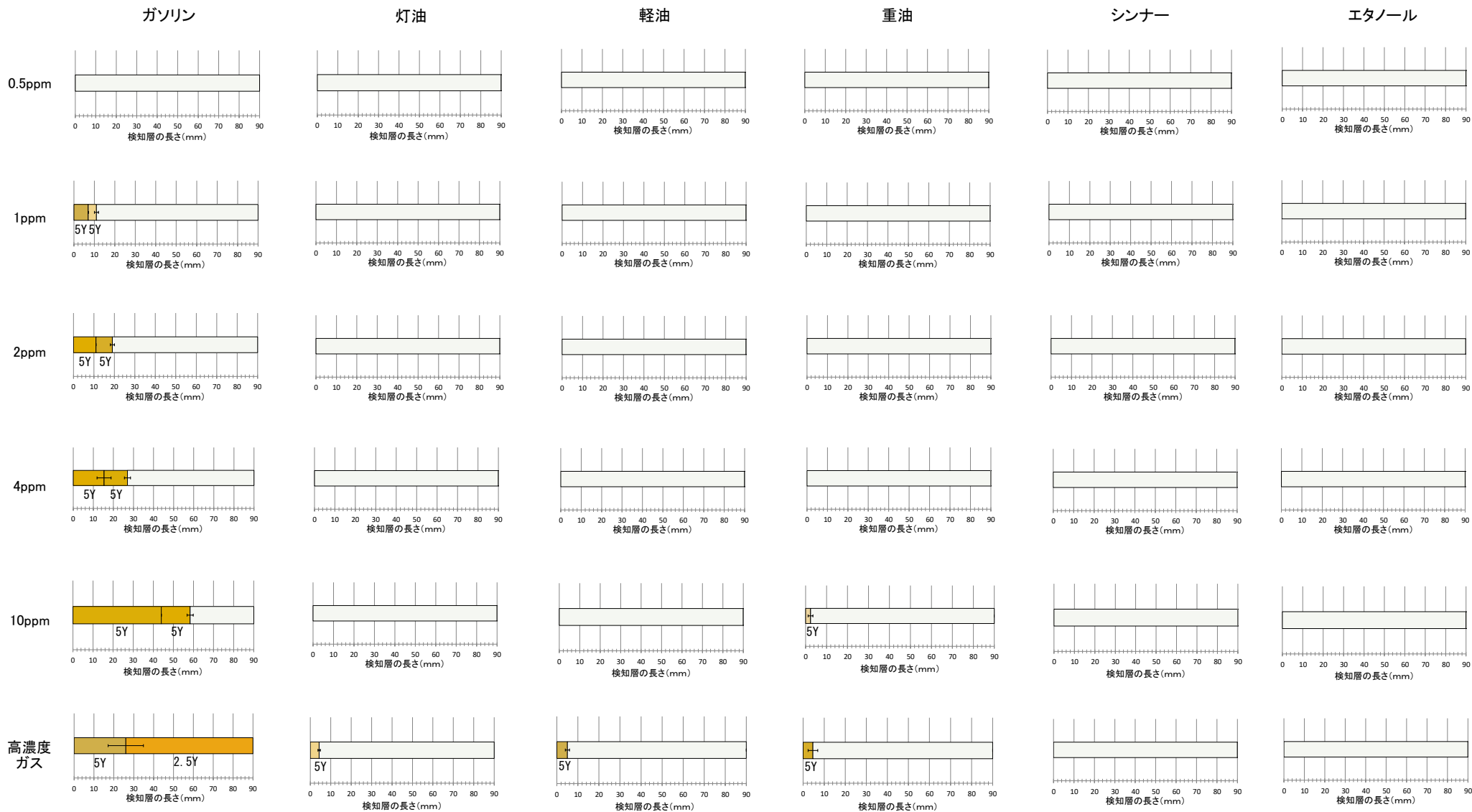
パソコンのディスプレイの設定条件によって色の見え方が変わります。また、印刷する際も印刷機の種類や設定条件等により色が変わります。



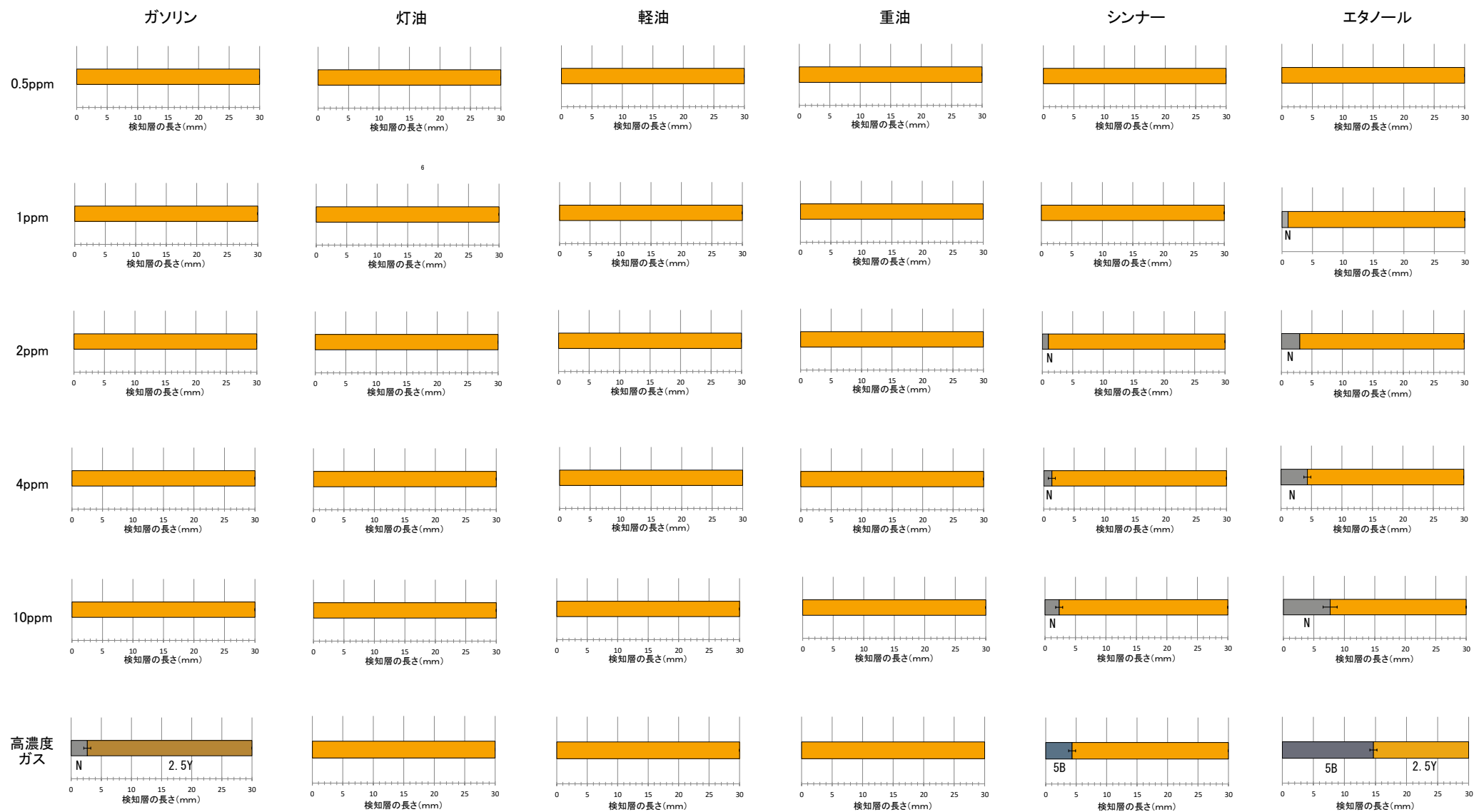
各助燃剤・各濃度におけるP検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）



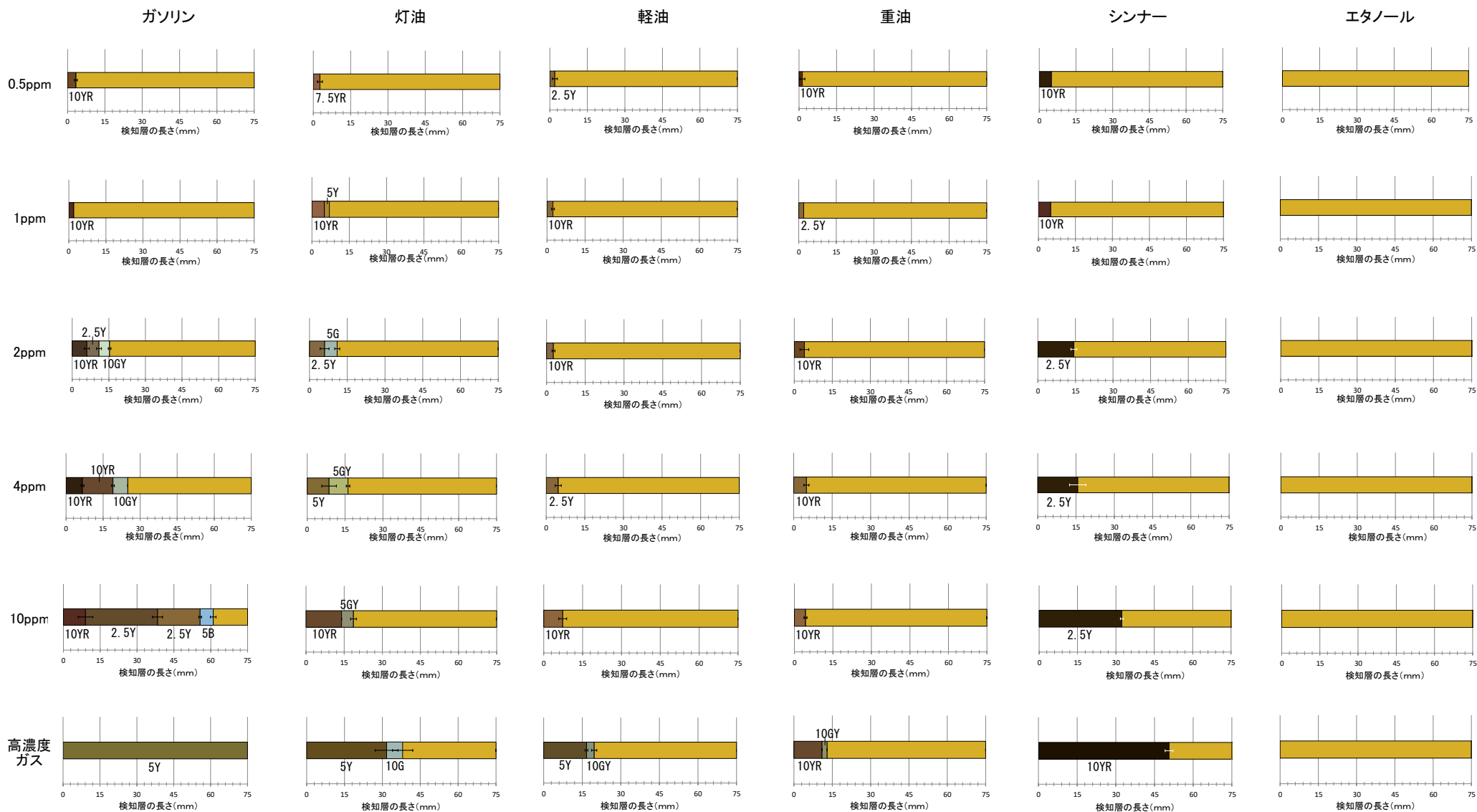
各助燃剤・各濃度におけるPⅡ検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）



各助燃剤・各濃度におけるスチレンS B検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）

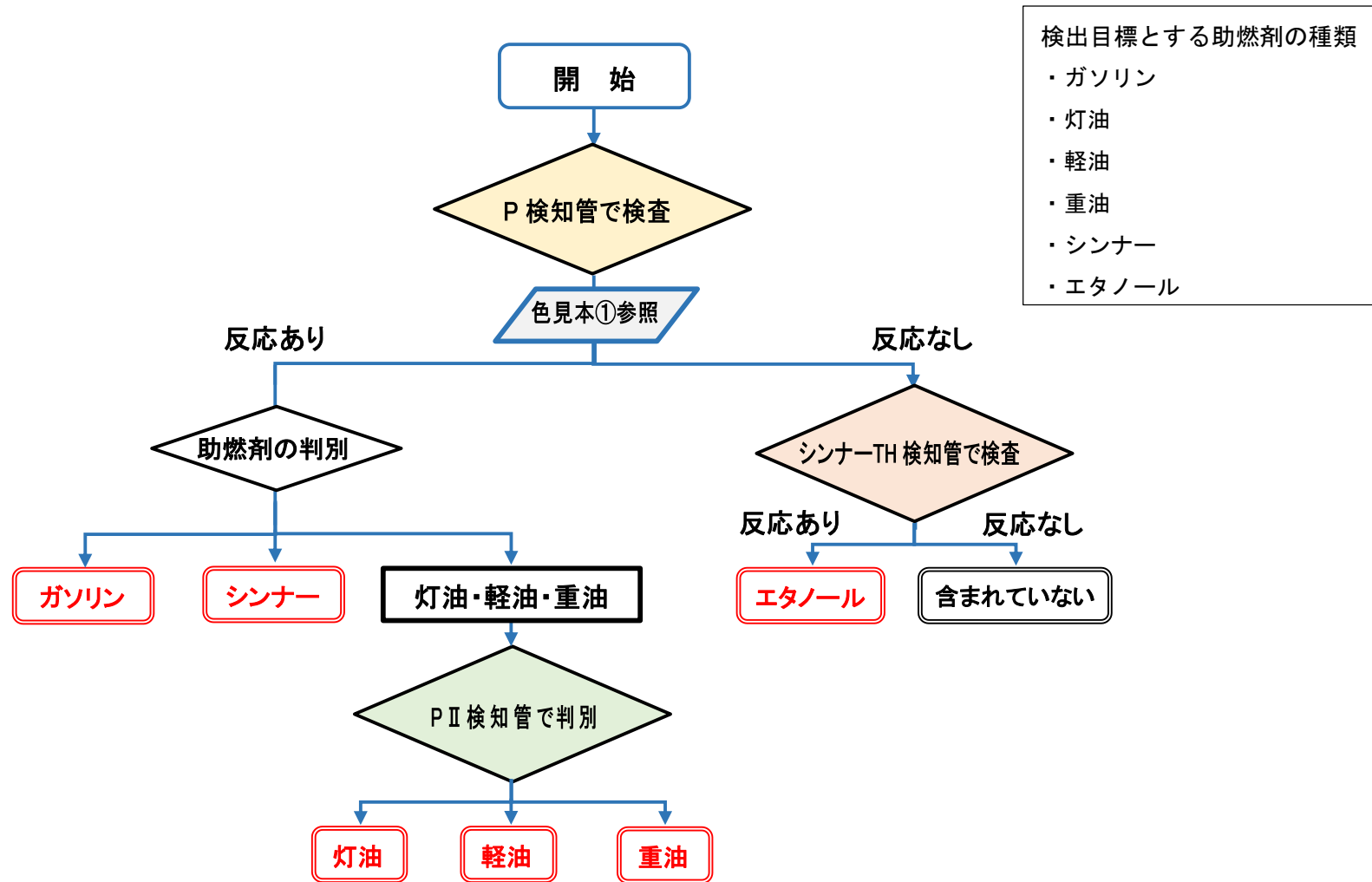


各助燃剤・各濃度におけるシンナーTH知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）



各助燃剤・各濃度におけるヘキサンS C知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）

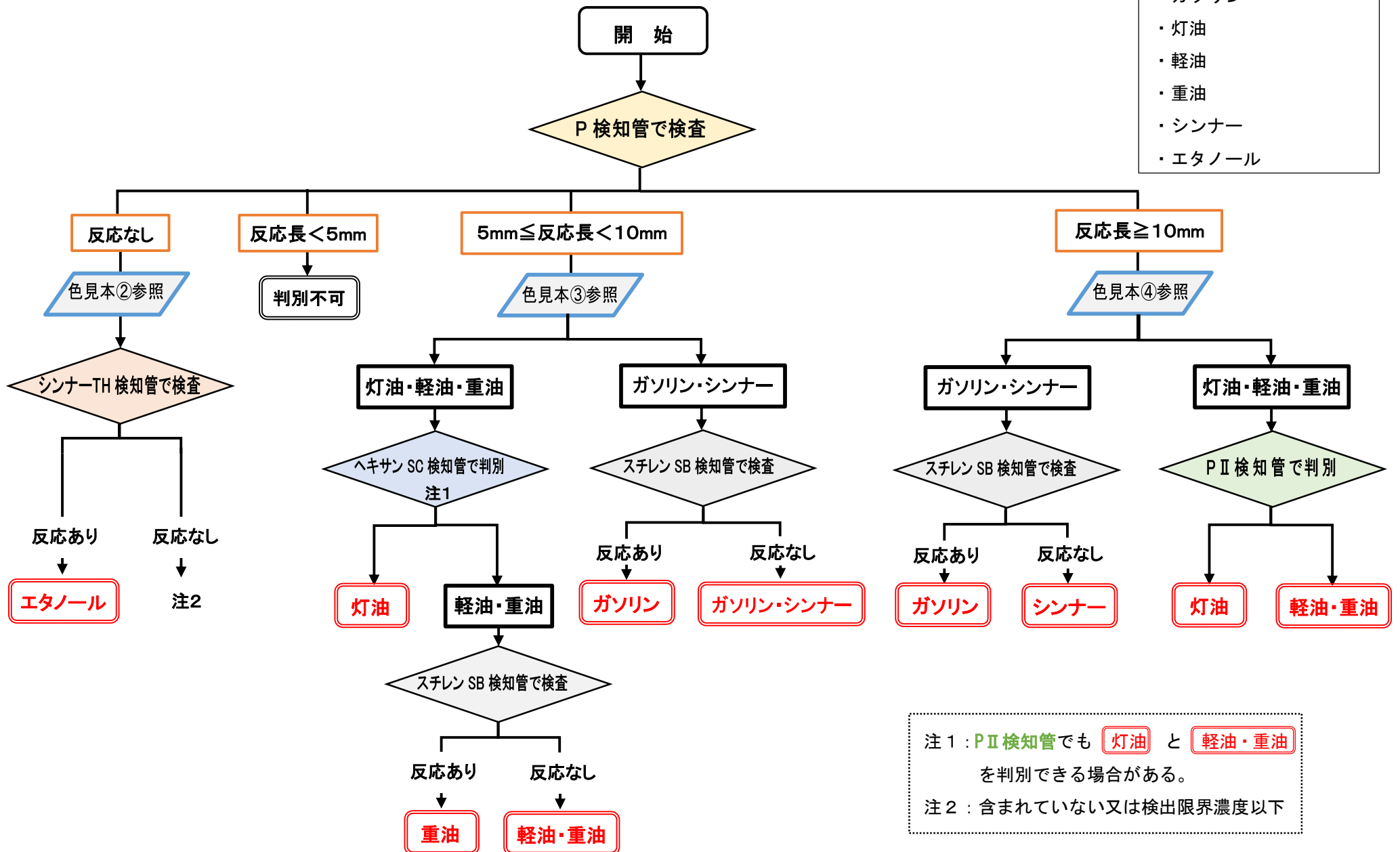
手順フローチャート(容器内の液体を検査する場合)



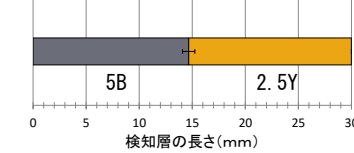
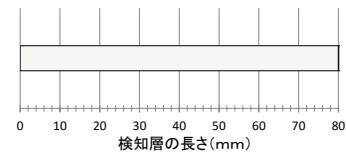
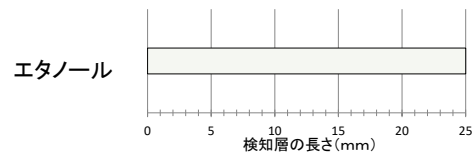
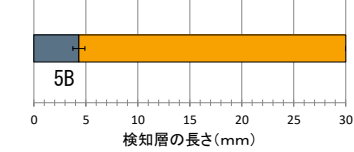
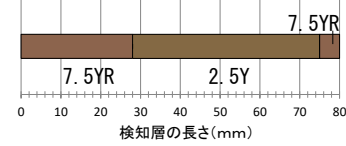
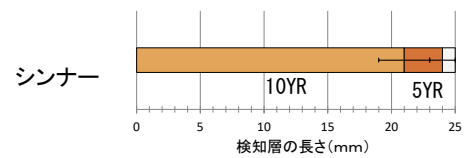
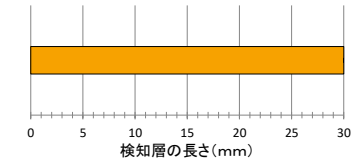
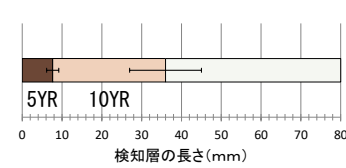
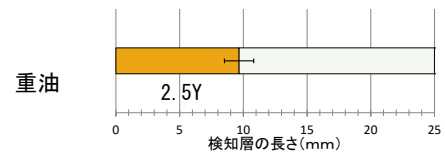
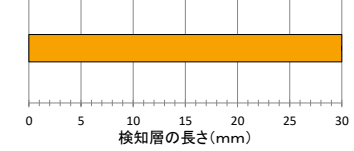
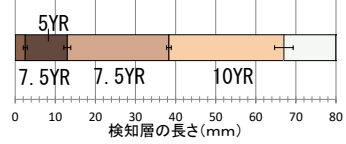
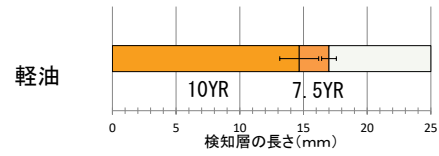
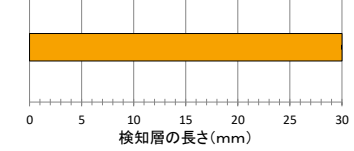
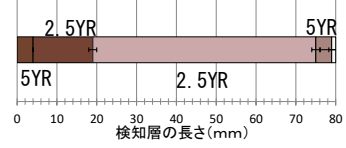
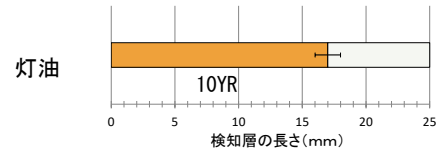
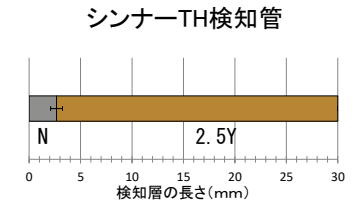
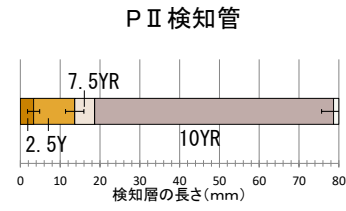
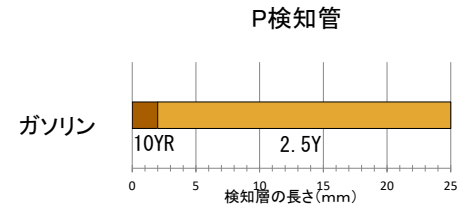
手順フローチャート(残渣物等を検査する場合)

検出目標とする助燃剤の種類

- ・ ガソリン
- ・ 灯油
- ・ 軽油
- ・ 重油
- ・ シンナー
- ・ エタノール



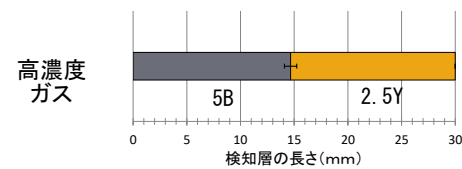
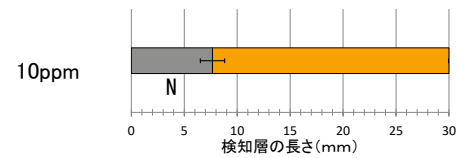
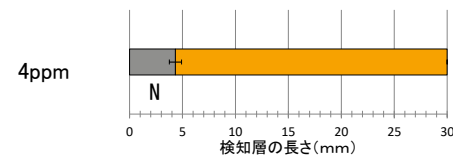
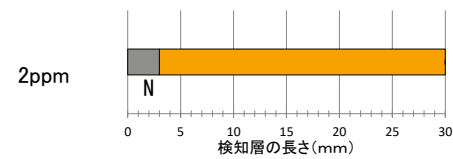
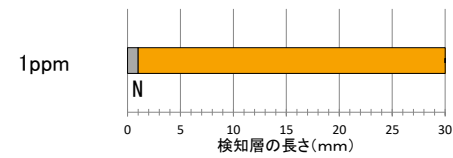
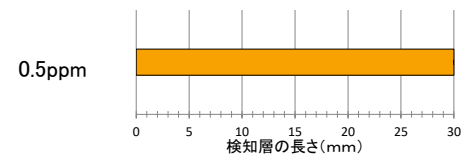
色見本①



色見本②

シンナーTH検知管

エタノール



色見本③ー1

P検知管

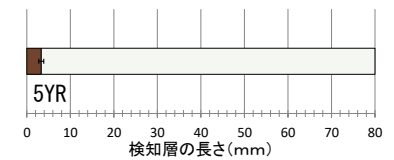
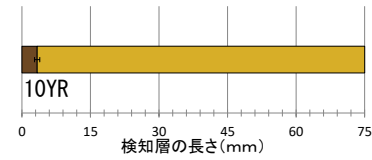
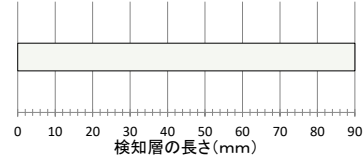
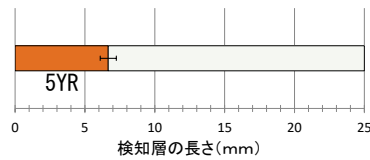
スチレンSB検知管

ヘキサンSC検知管

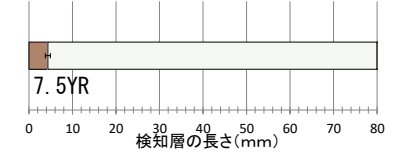
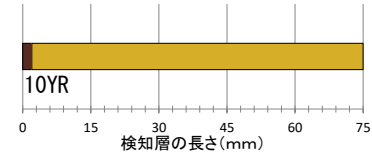
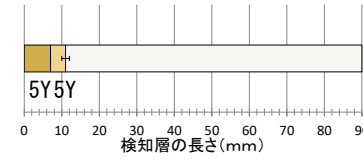
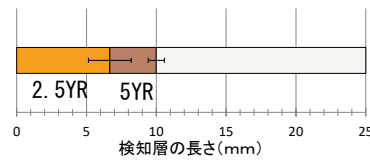
P II 検知管

ガソリン

0.5 ppm

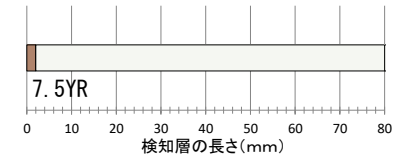
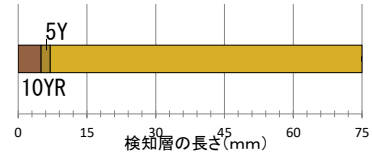
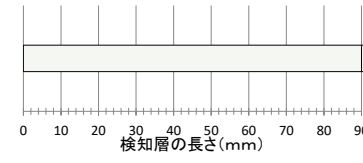
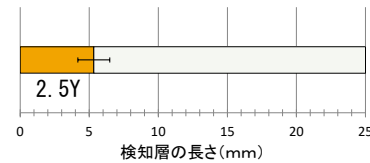


1 ppm

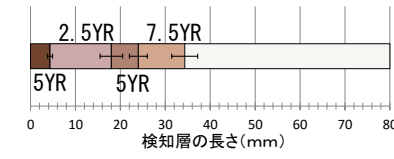
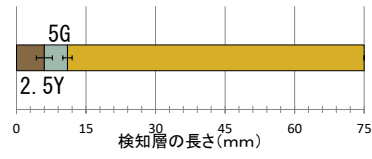
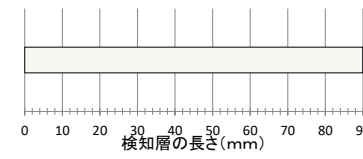
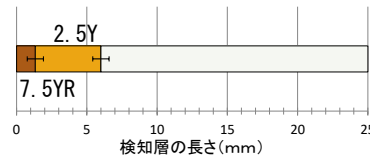


灯油

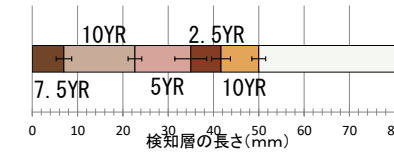
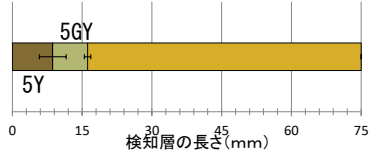
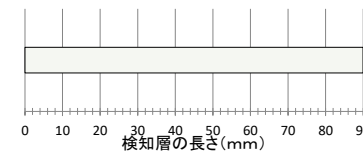
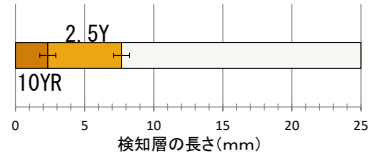
1 ppm



2 ppm



4 ppm



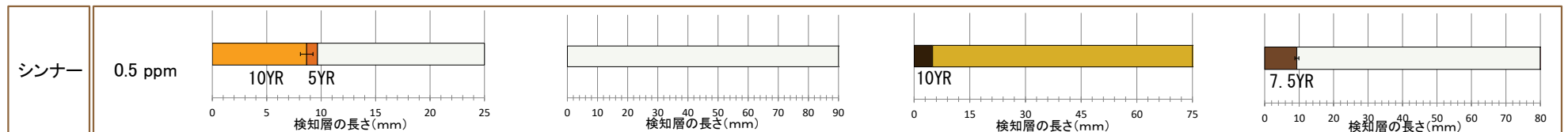
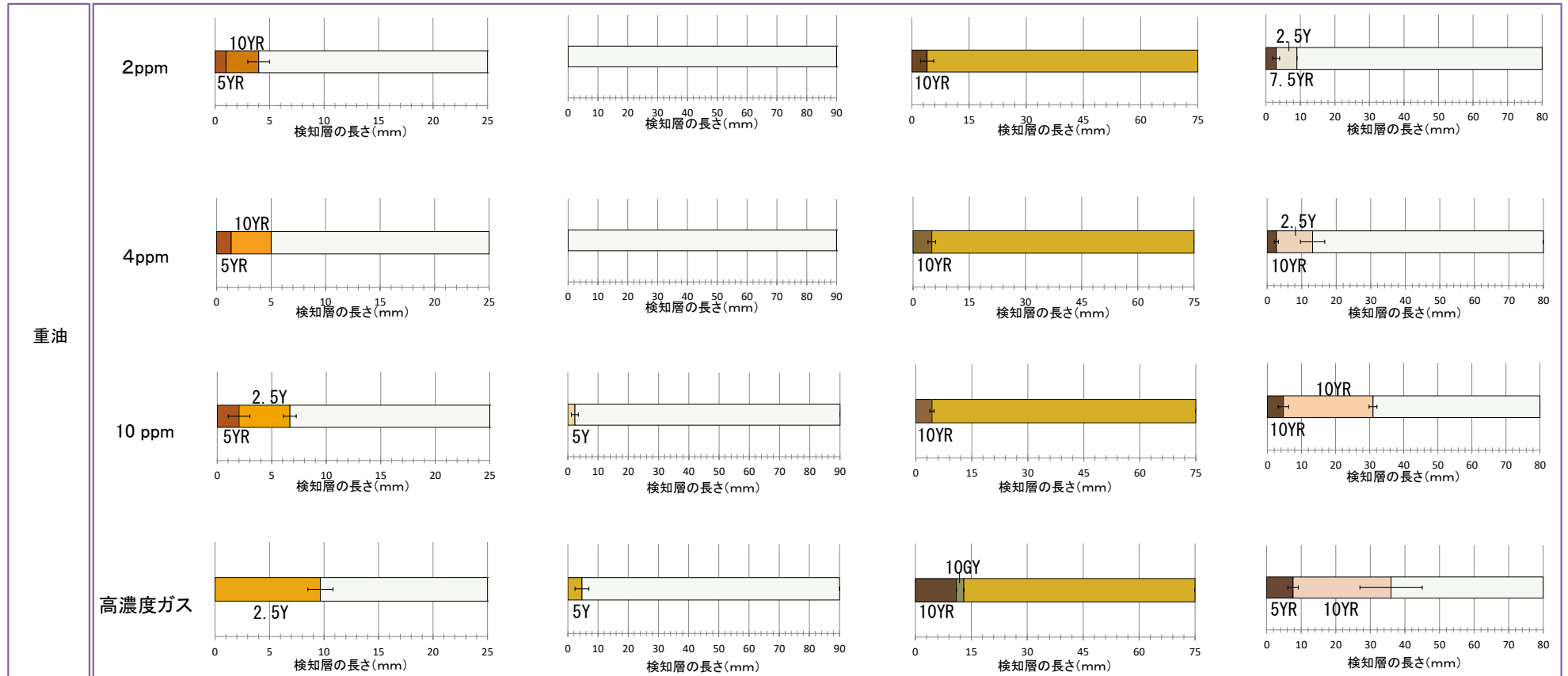
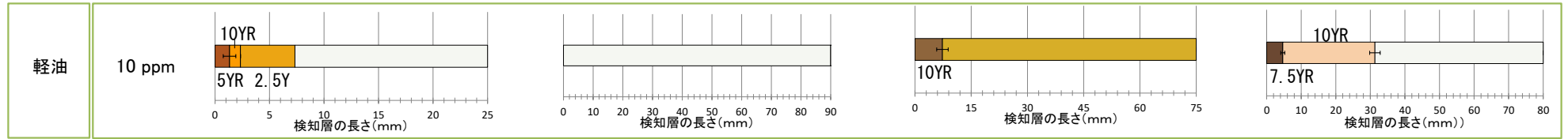
色見本③ー2

P検知管

スチレンSB検知管

ヘキサンSC検知管

P II 検知管

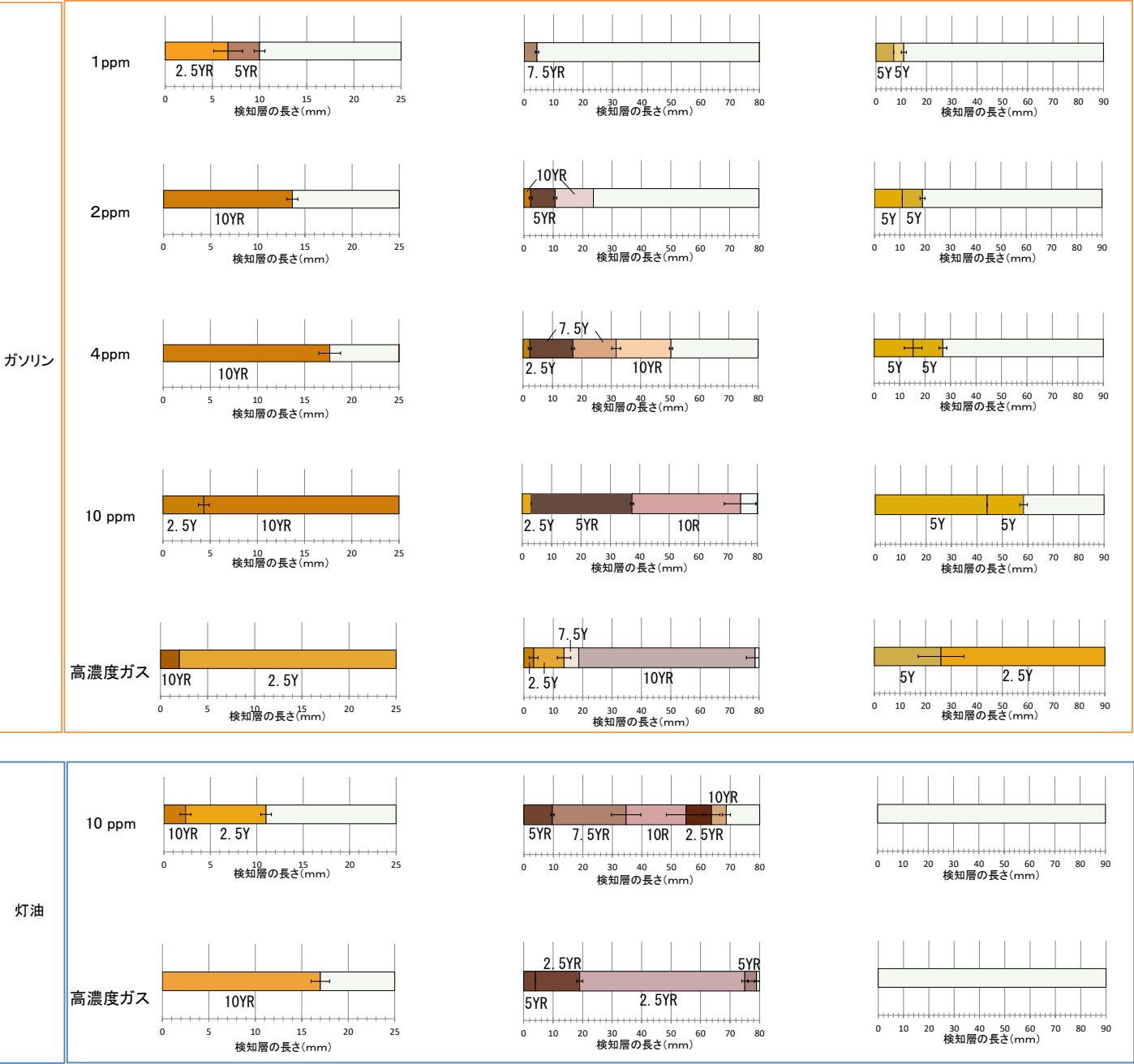


色見本④ー1

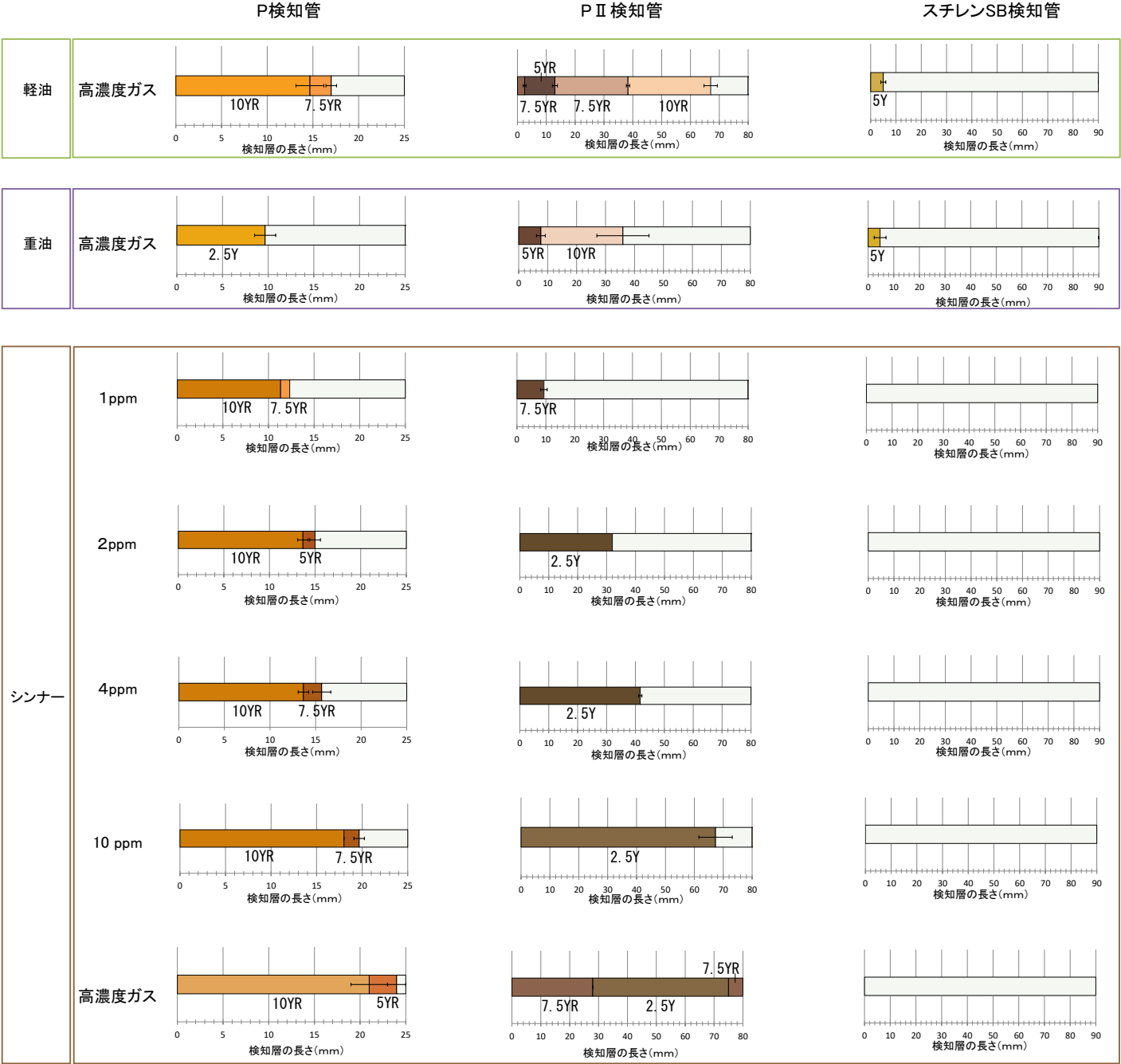
P検知管

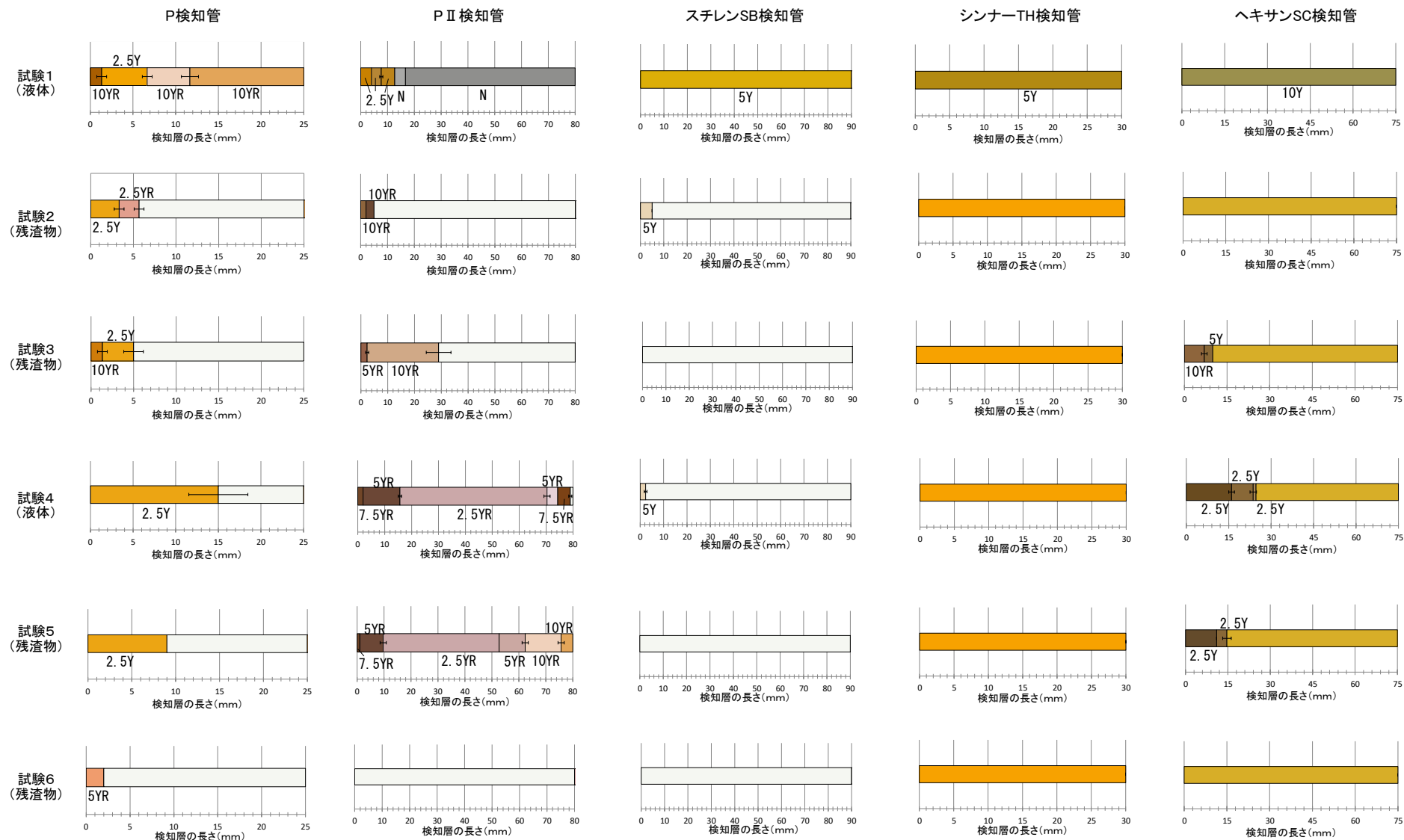
P II 検知管

スチレンSB検知管

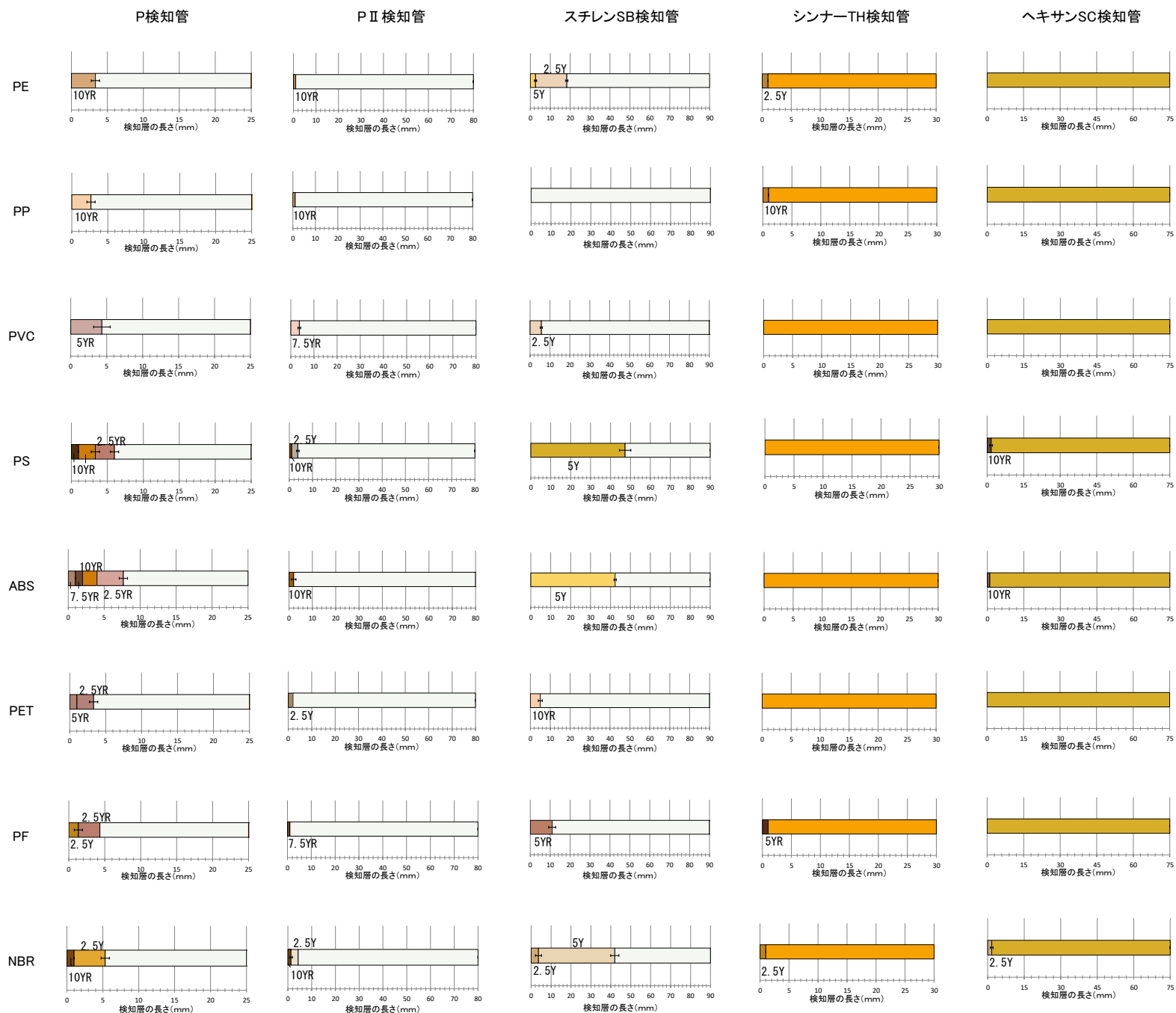


色見本④ー2

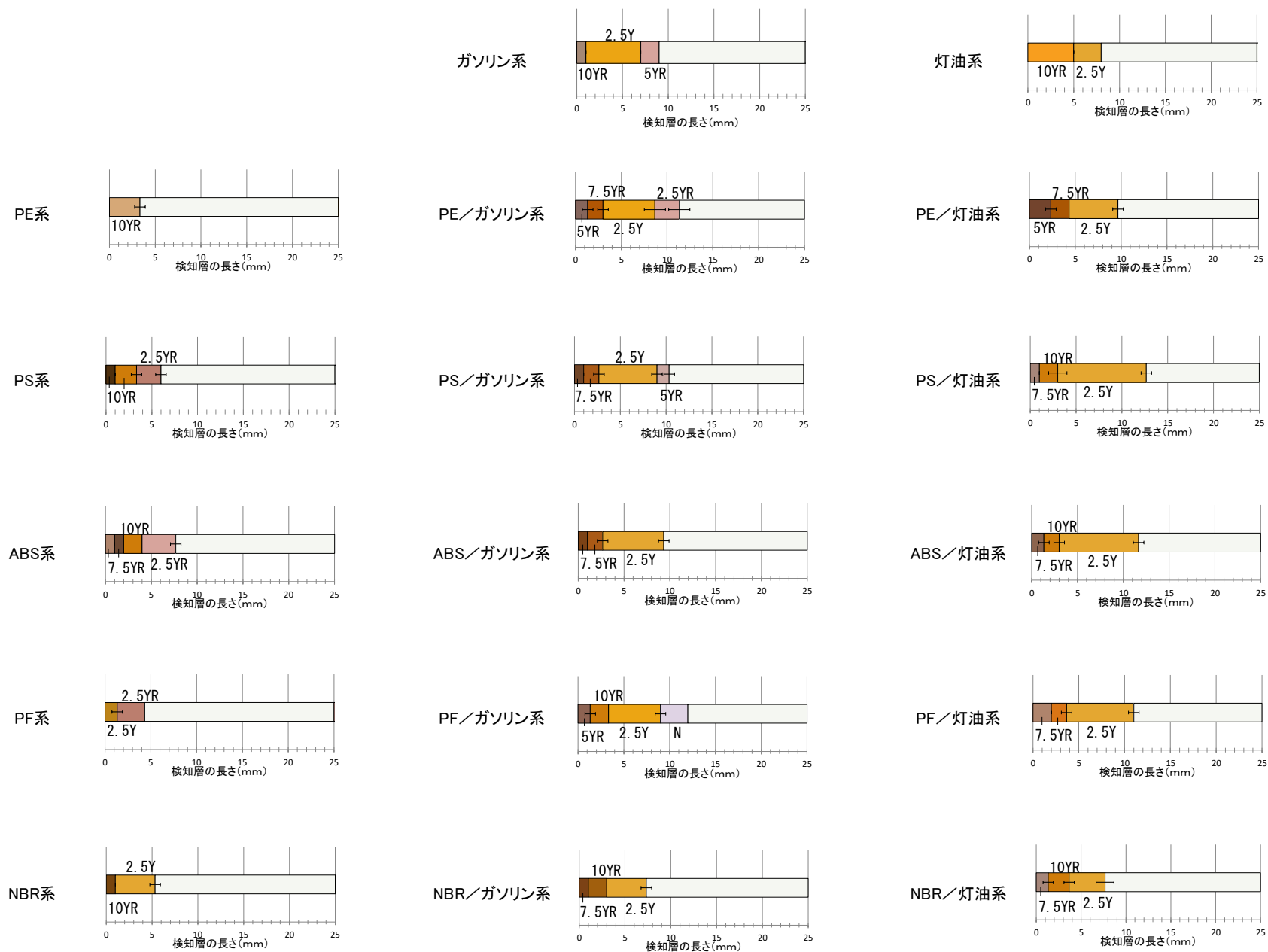




火災鑑定物件を用いた試験における各検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみを表記）



樹脂等の燃焼分解生成物に対する各検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）



樹脂等系、助燃剤系及び樹脂等／助燃剤系のP検知管の色見本（明度、彩度を省略し色相のみ表記）