⑶　サンプルＣ（カーボンヒータ）（布団正面　０ｃｍ）

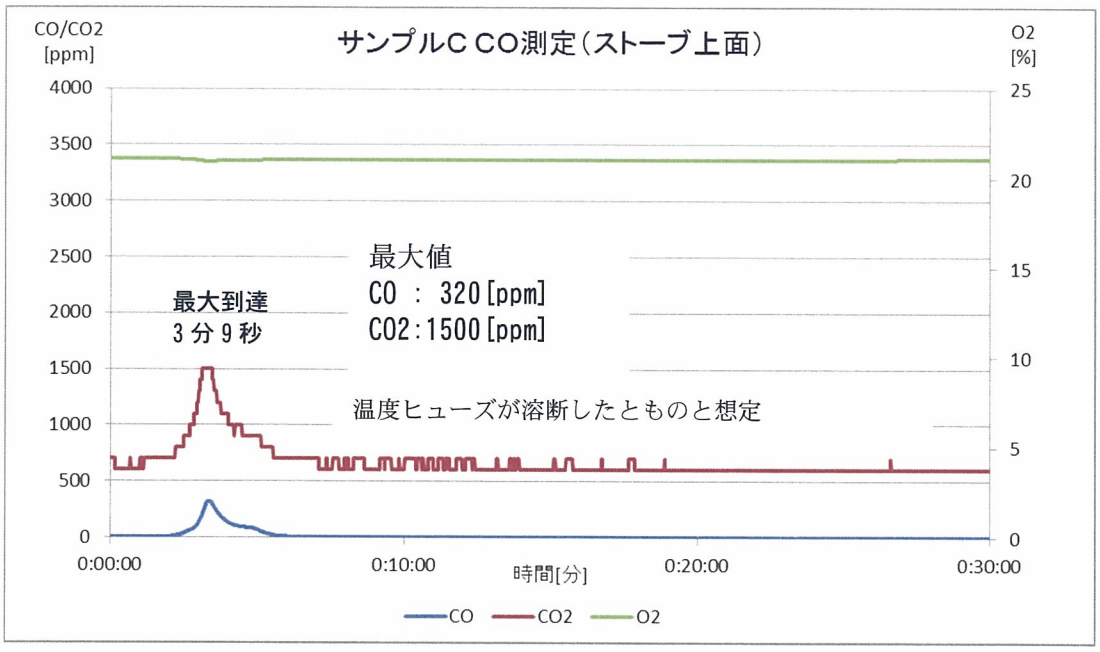


図５－２４　サンプルＣ（カーボンヒータ）の上面の CO、CO_2、O_2濃度

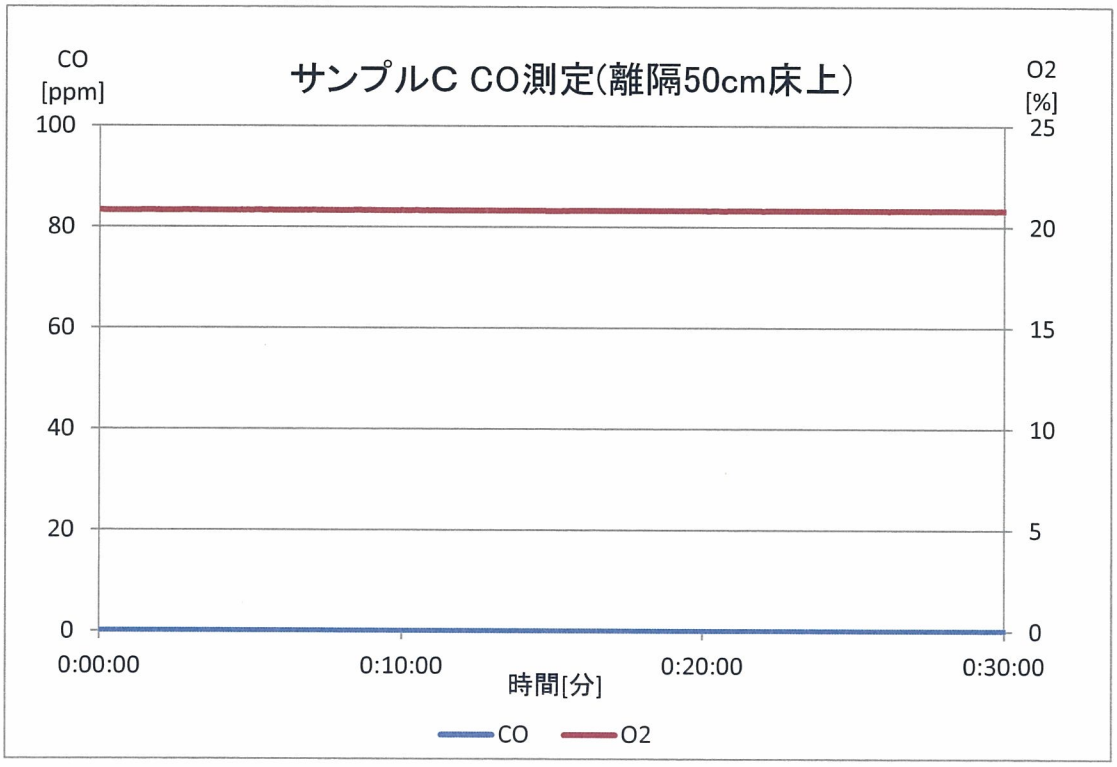


図５－２５　サンプルＣ（カーボンヒータ）の横方向 50cm の床上の CO、O_2濃度

４　視認性実験

各条件下で撮影した写真は、表５－９のとおり。

カーボンヒータが最も視認性が高く、次に石英管式、シーズヒータが最も視認性が低かった。

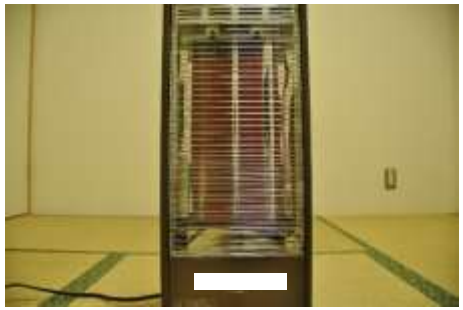
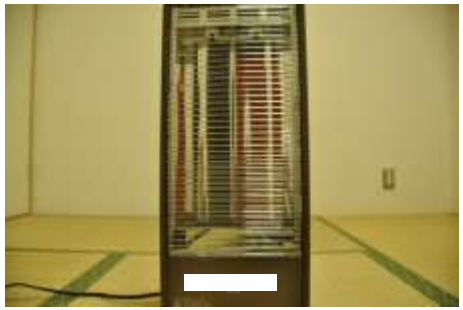
周囲の明るさは、視認性に大きく影響した。周囲が暗い場合、最も視認性が低いシーズヒー

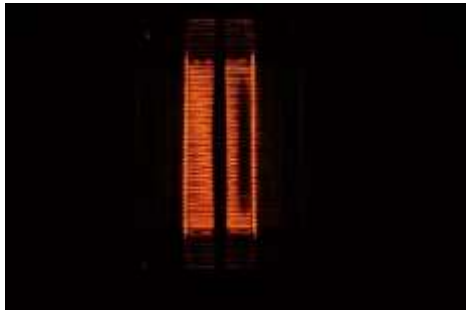
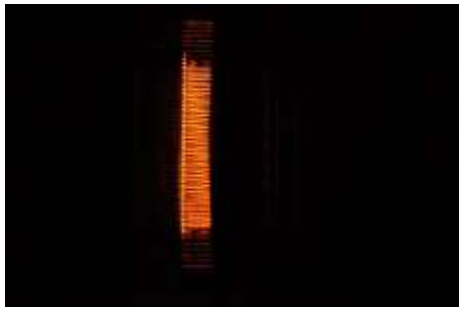
タにおいても通電を確認できるが、周囲が明るい場合、通電を識別しづらかった。

全てのサンプルにおいて、出力の強弱は、赤熱部分の明るさではなく、赤熱部分の面積が変化する。距離が 50cm の場合は、ストーブの視角が広いため、視認性はある程度保たれたが、距離が 240cm の場合は、視角が狭くなり視認性が低下した。

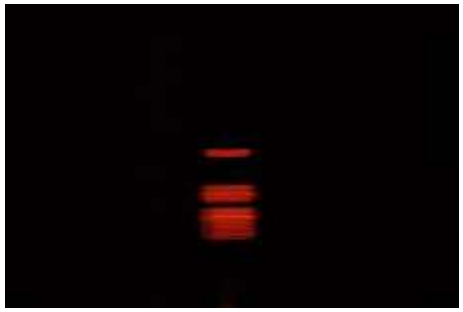
最も視認性が低かった条件は、シーズヒータで距離が 2.4m、出力が弱、周囲の明るさが明るい条件の場合であった（図５－２６）。

表５－９　実験結果

条件			サンプルＡ（石英管式）	サンプル Ｂ（シーズヒータ）	サンプル Ｃ（カーボンヒータ）
距離	出力	明るさ			
50cm	強	明			
50cm	中	明		設定なし	設定なし
50cm	弱	明			

条件			サンプルA（石英管式）	サンプルB（シーズヒータ）	サンプルC（カーボンヒータ）
距離	出力	明るさ			
50cm	強	暗			
50cm	中	暗		設定なし	設定なし
50cm	弱	暗			

条件			サンプルA（石英管式）	サンプルB（シーズヒータ）	サンプルC（カーボンヒータ）
距離	出力	明るさ			
100cm	強	明			
100cm	中	明		設定なし	設定なし
100cm	弱	明			

条件			サンプルA（石英管式）	サンプルB（シーズヒータ）	サンプルC（カーボンヒータ）
距離	出力	明るさ			
100cm	強	暗			
100cm	中	暗		設定なし	設定なし
100cm	弱	暗			

条件			サンプルA（石英管式）	サンプルB（シーズヒータ）	サンプルC（カーボンヒータ）
距離	出力	明るさ			
240cm	強	明			
240cm	中	明		設定なし	設定なし
240cm	弱	明			

条件			サンプルA（石英管式）	サンプルB（シーズヒータ）	サンプルC（カーボンヒータ）
距離	出力	明るさ			
240cm	強	暗			
240cm	中	暗		設定なし	設定なし
240cm	弱	暗			

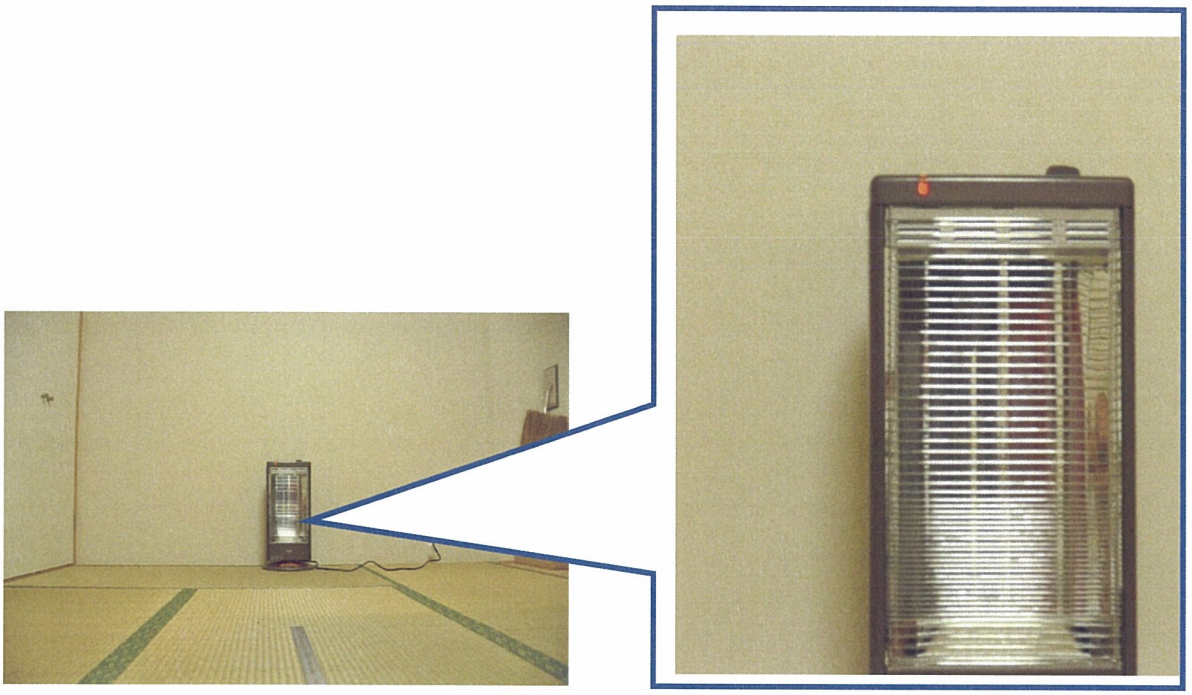


図５－２６　シーズヒータ（2.4m　弱・明）の赤熱具合（拡大）

カメラ条件：NIKON D5000 絞り値 f/3.5 露出 1/125 秒 ISO800 固定 （通常の室内の明るさの条件で標準設定される設定で固定した。） カメラの高さ：床上約 30cm

第４節　考察

１　加熱性状実験

通常の布団を正面 0cm にまで近づけた状態で発火に至るサンプルはなかったが、全てのサンプルで発煙及び焦げが確認された。また、電気ストーブの正面の条件では、10cm 離れた位置でも発煙又は焦げが確認された。可燃物である綿や羽毛が電気ストーブからの熱を受け、熱分解により可燃性ガスが生じていたと考えられる。

熱分解により可燃性ガスが発生しても有炎燃焼に至らない理由はいくつか考えられる。①可燃性ガスの発生量が少なく火炎が形成されない場合、②燃焼するための酸素が十分に入り込んでいない場合、③着火する温度が足りない場合などが考えられる。そこで、サンプル B に布団を巻き付けるように配置し、上部は可燃性ガスと熱が流出しにくいよう布団で覆い、下部は酸素が供給されるよう若干の開口を設定したところ、短時間で勢いよく燃焼した。その際、布団カバーの内側にて炎が瞬間的に出るような現象も観察されたことから、内部の布団が可燃性ガスに分解され燃焼し、内側の布団から外側の布団カバーに燃え広がった可能性がある。

比較のために実施した防炎布団カバーにおける実験では発火した。防炎カバーでの実験では、防炎カバー自体は焦げたものの、大部分の形状は保った状態であったため、布

団内部に可燃性ガスと熱がこもりやすい空間を形成したため燃焼した可能性がある。電気ストーブに対する布団の配置や形状が、可燃性ガスの滞留の状況等に影響することが考えられる。本実験では、サンプルBの布団を巻き付けた条件以外は、布団の形状は平面な条件で実施している。

布団表面の温度は、正面に配置した条件が最も高く、サンプルA正面0cmでは368℃となった。サンプルA及びサンプルBでは正面30cm、サンプルCでは正面10cmの位置で100℃を超え、電気ストーブから離れた位置での出火の危険性が確認された。上方及び側方の0cmの位置でも100℃を超える結果となり、正面以外の部分に可燃物が接触した場合にも出火する危険性がある。

なお、実験においては熱電対にて各部の温度を測定しているが、測定対象物そのものが燃焼により崩壊したり、熱電対を固定している糸が焼けたり、対流した空気にさらされるなどにより対象部分の正確な温度を示していない場合がある。

2　熱流束実験

熱流束は、いずれのサンプルも、正面が他の面より高い結果となった。これは、本実験で用いた電気ストーブは放射管からの放射により採暖するものであり、放熱板の設計により放射を正面に集中する構造であるためと考えられる。電気ストーブの保護ガードからの距離に対する正面中央の熱流束は図５－２７のとおり。いずれのサンプルも0cmでは10kW/m^{2}以上となり、保護ガードから10cm離れた位置でも10kW/m^{2}を超えるサンプルもあった。

材料の着火性の評価方法の一つとして、酸素指数法による評価がある。酸素濃度に着目した評価方法で、酸素指数が小さいほど着火しやすい材料である[*6]。布団カバー材である綿の酸素指数は約18から21[*6]であり、木材の酸素指数は約20[*7]であるため、綿と木材の酸素指数法による着火性はほぼ同等である。また、木材の着火限界熱流束は約10kW/m^{2}とされている[*8]。従って、綿の布団カバーは、10kW/m^{2}の熱流束を受けると出火する可能性があると言える。

加熱性状実験の結果と考え合わせると、正面0cmで発煙や焦げにとどまったが熱流束からは出火の条件に至っていると言える。加熱性状実験で言及した通り、可燃性ガスの滞留の状況等が影響していると、この結果からも言えるものと考えられる。また、今回使用したサンプルでは10cm離れて10kW/m^{2}以上となったのは１つのみであるが、出力によっては同じ発熱構造のストーブでも熱流束が高くなると推定され、どのストーブでも10cm以内への可燃物の放置は火災危険が高いと言える。

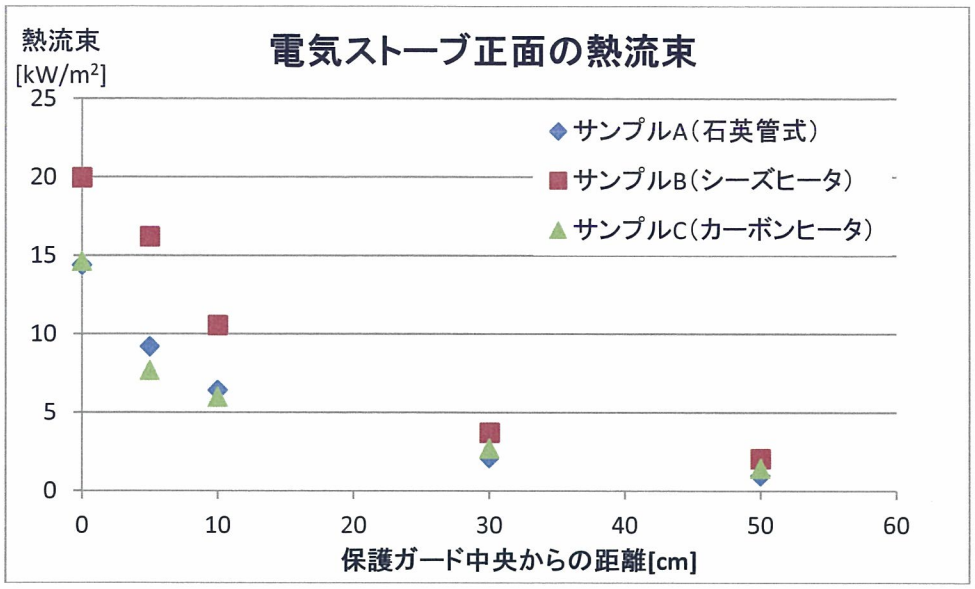


図５－２７　電気ストーブ正面の熱流束（保護ガード中央部分）

3　CO 測定

CO の発生は着火物の発煙に伴い増加・減少する傾向があり、電気ストーブ上面でサンプリングしたところ最大で 3,015ppm を記録したサンプルがあった。煙の発生位置は、布団の中央部から徐々に周囲に拡大していった。CO の測定点は電気ストーブの中央上面であったため、周囲へ拡大した後は測定値より CO 濃度が高い位置があったと考えられる。本実験では、着火物である布団が、正面 0cm の条件のみ CO 測定を実施したが、正面 5cm、10cm の条件でも軽微な発煙や焦げが確認されており、CO が発生していたと考えられる。燃焼の形態としては、炎を伴わない無炎燃焼（燻焼）であり、拡散火炎と比較して CO の発生割合が高い燃焼形態である。

辻阪[*9]らの計算式に基づき、CO 濃度及び O_2 濃度から、一酸化炭素ヘモグロビン濃度（HbCO 濃度）を算出した結果は図５－２８のとおりである。ここでは、各実験における最大の CO 濃度が継続すると仮定して算出した結果である。CO 濃度が最も高かったサンプル B（3,015ppm）では、数分で HbCO 濃度が 70%を超え、人体への影響としては、「1 分から 2 分で、反射低下、呼吸障害、死亡」の症状が生じうる[*6]。次に CO 濃度が高かったサンプル A（1,400ppm）では、約 10 分で 30%を超え、「4 時間から 5 時間で、激しい頭痛、悪寒、嘔吐、外表の鮮紅色、やがて運動能力の喪失」の症状が生じうる[*6]。また、高齢者は、慢性心疾患、貧血及び呼吸器疾患の既往症を持つ人が多く、このような既往症を持っている場合、CO 中毒の影響を受けやすいとされており[*10]、高齢者にとっては、低濃度の CO であっても危険な可能性がある。実環境においては、人が吸入する位置では CO は希釈されており、また、CO 濃度が実験値のような高濃度で推移しない可能性があるため、相当に安全側の評価であるが、条件によっては人体に重体な危険性があるといえる。

電気ストーブから 50cm 離れた床面では、CO はほとんど観測されなかった。実験環境は一辺が 10m の大型の部屋であることから、発生した CO は浮力により上昇した後、拡

散したと考えられる。

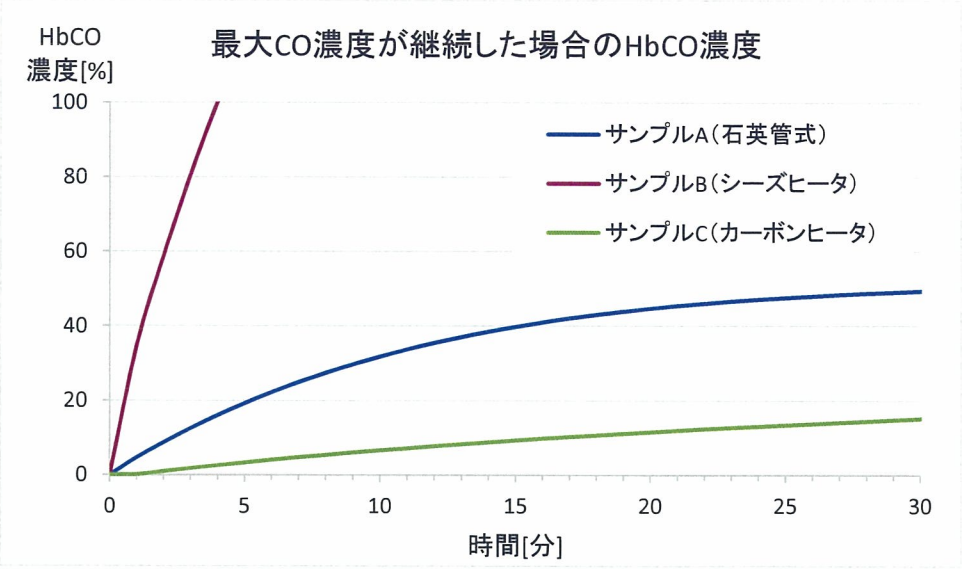


図５－２８　最大 CO 濃度が継続した場合の HbCO 濃度

4　視認性実験

シーズヒータは、他の２つの電気ストーブと比較してヒータ部分の発光が弱く、周囲が明るい条件だと視認性が低い状態である。これは、ヒータ部分の構造が、シーズヒータ以外の電気ストーブは赤熱線をガラス管に入れているのに対し、シーズヒータはステンレス管等の金属管に入れているためであると考えられる。

出力は、いずれのストーブも通電するヒータの数で調整しており、周囲の明るさ、ストーブまでの距離の視認性への影響は大きく変わらず、周囲が明るく距離が離れるほど視認性は低下している。

また、可燃性実験及び熱流束実験より、電気ストーブから 50cm 離れると布団表面温度は 200℃以上、熱流束は 10ｋW/m² 以上低下しており、電気ストーブから数メートル離れると人体が熱を感じることは困難であると考えられる。

これらを考え合わせると今回のように 2.4m 程度離れると　シーズヒータは通電を認識できない可能性が高いと言える。

5　火災の発生及び死者の発生について

⑴　火災が発生するメカニズム

①　燻焼が継続する場合

サンプルＡ（石英管方式）の布団表面温度、CO 濃度、熱流束の関係は図５－２９のとおり。ここでは、CO 濃度の測定点からガス分析器までの測定遅延時間を２分としている。まず、電気ストーブからの放射熱で可燃物の表面温度が上昇し、その後熱分解が始まり、発煙とともに CO 濃度が上昇する。燻焼部分が外側に拡大するにつれて、測定点での温度及び CO 濃度は低下する。放射熱を受けている部分が炭化すると燻焼が停止する。

ある程度熱が散逸しにくい燃焼状態の場合は、燻焼で発生した熱で隣接する可燃物の熱分解が促進され、燻焼が長時間にわたり継続し、周囲の CO 濃度が高くなると考えられる。

② 短時間で延焼拡大する場合

サンプルＢ（シーズヒータ）に布団を巻き付けた実験では、電気ストーブからの放射熱で可燃物の表面温度が急激に上昇し、熱分解で発生した熱が内部に滞留し、熱エネルギーが蓄積され出火したと考えられる。また、電気ストーブからの放射熱が大きい場合は、可燃物の形状によらず出火するものと考えられる。

可燃物が電気ストーブを覆うような場合や、可燃物が赤熱部に接近している場合には短時間で延焼拡大するものと考えられる。

⑵ 死者が発生するシナリオ

① 燻焼が継続する場合

燻焼は CO の発生量が多いため、比較的短時間でＣＯ中毒になる可能性が高いと考えられる。また、火炎が発生しておらず、発見が遅れる可能性があり、長時間 CO に曝され CO 中毒になりやすいと考えられる。さらに、火炎が発生していないため危険性を認識しにくく、CO 濃度が高い環境下で、初期消火を実施してしまい、CO 中毒になることが考えられる。

② 短時間で延焼拡大する場合

出火から火災を発見するまでの時間は短いが、短時間で煙や火炎に曝されることになり逃げ遅れてしまい、火傷死や焼死に至る可能性が高いと考えられる。

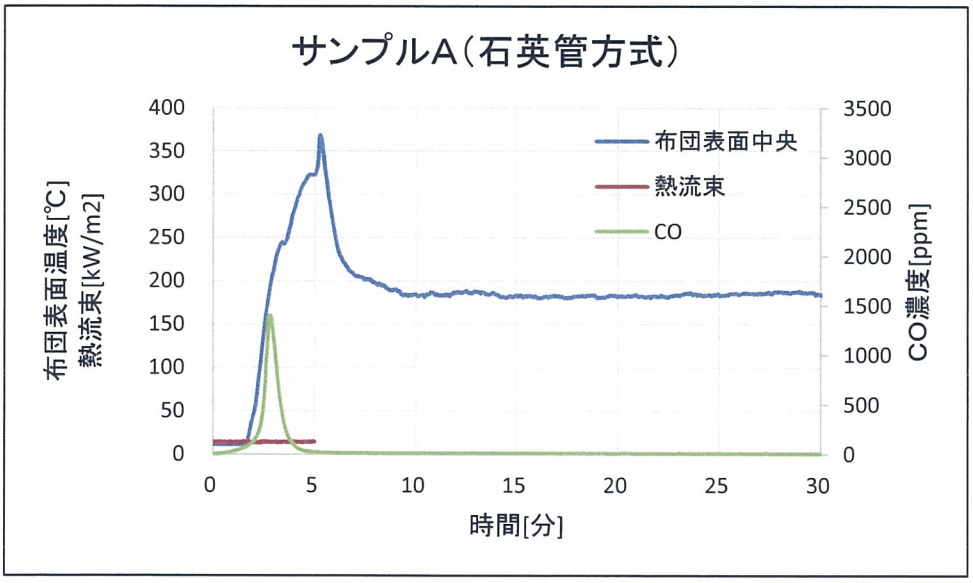


図５－２９　布団表面温度、CO 濃度、熱流束（サンプルＡ石英管方式）

第５節　まとめ

１　加熱性状実験

通常の布団を正面 0cm にまで近づけた条件では、全てのサンプルで発煙及び焦げが生じ、電気ストーブに布団を巻き付けた実験や防炎布団カバーの実験では発火した。電気ストーブと布団との位置関係や布団の形状、燃焼の条件などで、①可燃性ガスが滞留

しやすく、②酸素が十分に供給され、③熱がこもる環境下では、布団や着衣を燃焼させるリスクがあると考えられる。

2　熱流束実験

熱流束は、いずれのサンプルも、正面が他の面より高い結果となった。電気ストーブ正面 0cm では全てのサンプルが、木材の着火限界熱流束である約 10kW/m^2 以上となり出火の危険性が確認された。また、保護ガードから 10cm 離れた位置でも 10kW/m^2 を超えるサンプルもあり、電気ストーブ正面に位置する可燃物の出火危険性が確認された。

3　CO 測定

CO の発生は着火物の発煙に伴い急速に増加・減少する傾向であり、電気ストーブ上面でサンプリングしたところ最大で 3,015ppm を記録したサンプルがあった。辻阪[*9]らの計算式に基づき、CO 濃度及び O_2 濃度から、一酸化炭素ヘモグロビン濃度（HbCO 濃度）を算出した結果、CO 濃度が最も高かったサンプル B（3,015ppm）では、数分で HbCO 濃度が 70%を超える結果となり、人体に重体な影響を与える危険性が確認された。ただし、最大 CO 濃度が継続する等、相当に安全側で評価した結果である。

また、正面 5cm、10cm の条件でも軽微な発煙や焦げが確認されており、CO が発生していたと考えられ、人体に影響を与える可能性がある。

4　視認性実験

視認性について、シーズヒータは他と比べ発光が弱く、周囲の明るさにより見えにくい場合があり、使用者は消し忘れをする可能性がある。なお、使用したシーズヒータには通電状態を表示するランプが組み込まれているため、これにより使用中であることを確認することができた。

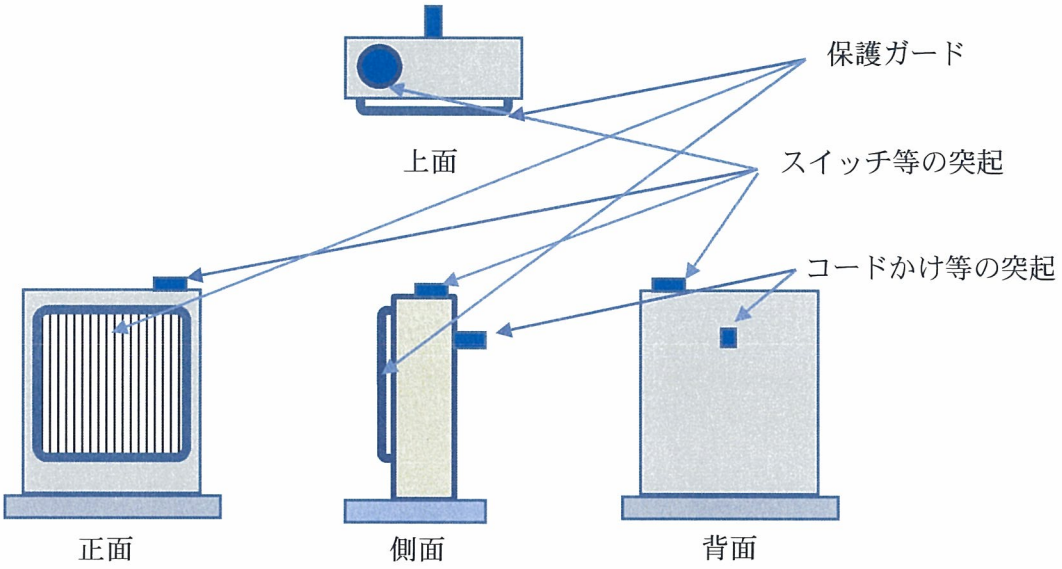
今回のサンプルは全てヒータの本数を切り替えることで出力を調整するものであるが、ヒータの通電率制御を行うものなどがあれば、通電時においてもヒータ部が赤熱しない可能性がある。

別紙５－１

加熱性状実験、熱流束実験における熱電対及び熱流束測定位置

加熱性状実験における熱電対の取り付け位置及び、熱流束実験における熱流束センサーの取り付け位置は、以下のように設定した。加熱性状実験における熱電対の位置と熱流束実験における熱流束センサーの取り付け位置は基本的に同じである。

１．電気ストーブの構造（イメージ）

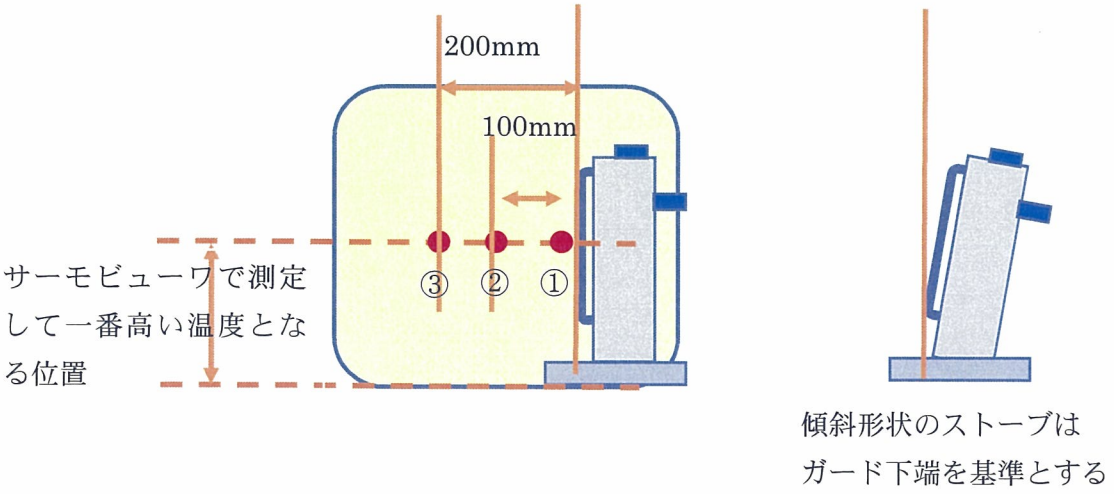


２．側面の測定位置

① ストーブの側面に熱流束測定用のケイ酸カルシウム板を設置する。

② サーモビューワで最も温度の高い位置を観測し、床面からの高さを確認する。

③ 最も温度の高い位置となる線に沿って、保護ガードの表面から 0mm、100mm、200mm の３点の位置を測定点１．２．３とする。



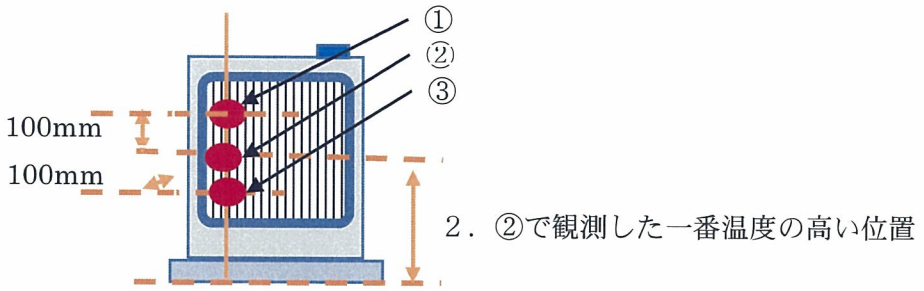
3．正面の測定位置

① 側面の測定位置と同じ床面高さを基準とし、そこから+100mm、0mm、-100mm の位置を測定点１，２，３とする。

② 縦方向の位置は、保護ガードの縦方向中央とする。ただし、ヒータが縦方向に配置されているサンプルＢ、Ｃについては、次のようにした。

ａ．加熱性状実験においては、ヒータの正面位置

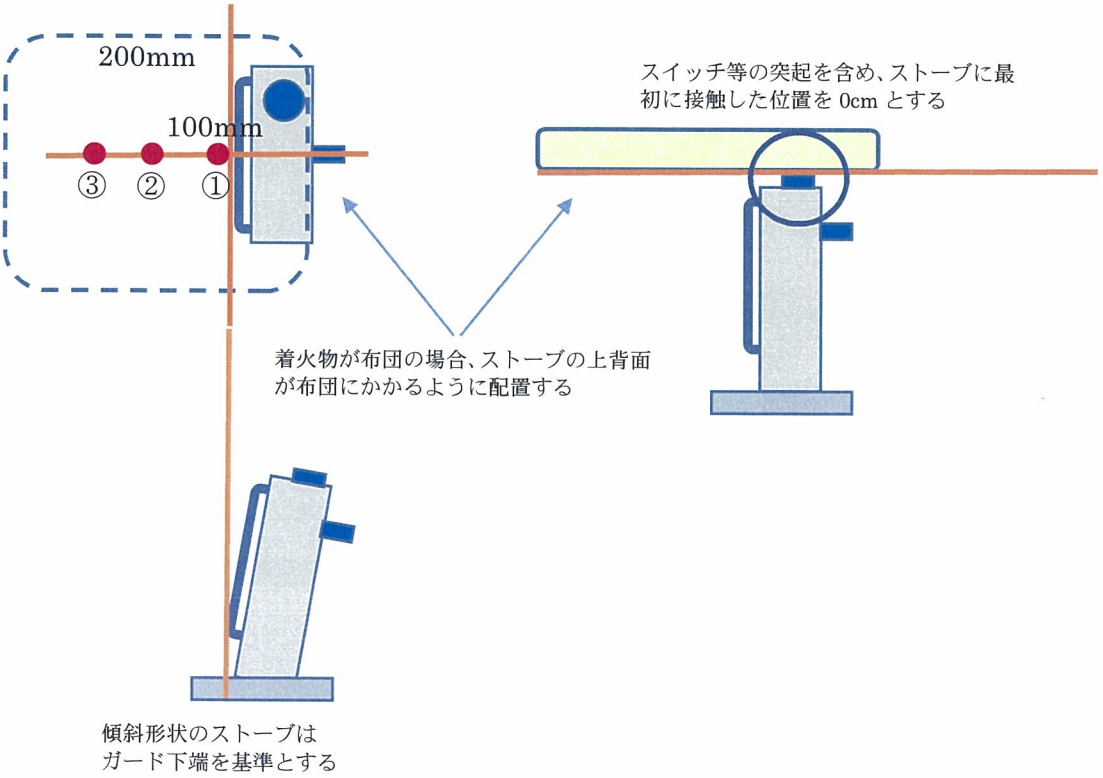
ｂ．熱流束測定においては、保護ガードの縦方向中央及びヒータの正面位置



4．上面の測定位置

① スイッチ等の突起を含め、電気ストーブの最も床から高い位置を水平方向の基準とする。

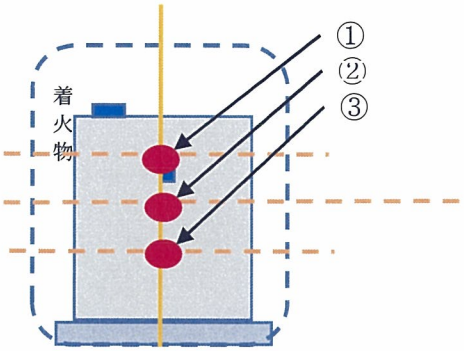
② 保護グリルの表面中央から、0mm の位置、100mm、200mm の位置を測定点１，２，３とする。



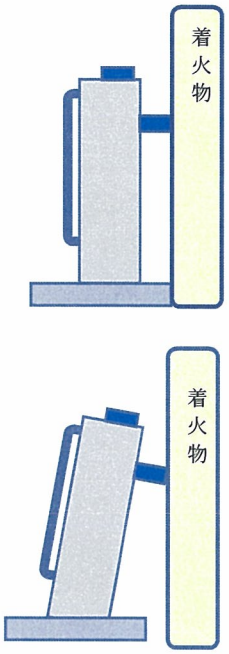
5．背面の測定位置

① 側面の測定位置と同じ床面高さを基準とし、そこから+100mm、0mm、-100mm の位置を測定点１，２，３とする。

② 縦方向の位置は、保護ガードの縦方向中央とする。



着火物が布団の場合、ストーブの脚は無視して、床につける



着火物を鉛直に垂らして、コードかけ等の突起に接した状態を 0cm とする