

柴油車排放黑煙之原理與實用對策（二）

大道寺達* 黃光輝**

第四章 關於排放黑煙成分之檢討

柴油汽車（柴油引擎）所排放出來的黑煙氣體，若屬於氣缸內或燃燒室內的噴霧粒子燃料，能被完全氣化燃燒，則排出的廢氣，自然清淨無色看不到黑煙。

柴油引擎在機械操作本身擁有無缺陷以及無不良或易發生異常的情形，並且又能持續正常動作狀態等種種優點。可是實際情況卻常在發動、加速、急加速變速或爬坡行車、超負荷、超速度等時，會排放由肉眼即可明顯看得出的黑煙，而造成環境空氣污染，並有日益嚴重的趨勢。柴油黑煙公害對都市帶來禍害，現今世界性的動向，均針對都市運輸交通，加以改善管制來消滅黑煙的污染。

一般排放黑煙的理由根據，被認為係氣缸內或燃燒室內形成局部濃厚混合氣體（霧狀燃料粒子與空氣的混合物），致使不完全燃燒。此時轉化產生碳元素微粒子，與同時排放出大氣圈內的氣體（廢氣）混合，構成黑煙化的作用。如再詳細探討產生黑煙的原因，可從引擎的燃燒過程來說明柴油引擎的特有燃燒機構是氣缸或者是燃燒室，其燃燒過程進行前後，熱化學反應均相當複雜而不易瞭解。然而當假定在氣缸內或燃燒室的噴入燃料，經由自動噴霧所形成液相霧狀粒子，其中部分的液相霧狀粒子，轉化成為氣相的霧狀粒子，開始自動着火燃燒，其他部分未轉化成氣相，亦即未着火燃燒之液相霧狀粒子，與排出氣體以及固相碳元素粒子同時排出。液相霧狀粒子與固相碳元素粒子互相混合而形成浮游粒子，漂浮大氣中而可能構成眼睛可見的黑煙。汽油引擎的燃燒過程即使並不完全或者經過完全氣化燃燒之汽油引擎所排放瓦斯，應是清澄無色的，這種特性與液化轉化為氣化燃燒的柴油引擎相比較，柴油引擎會排放黑煙，可說兩者十分容易區別其特性的差異。

表九是柴油引擎所排放粒子成分元素分析的結果，顯然由此分析結果，可確定排放物中的碳元素，為構成黑煙化的主因。碳元素是由碳氫系燃料（如輕油、重油）燃燒時發生的，由非定型游離碳元素粒子所構成。此外，另有一種雖然尚未定論，但可能也是造成碳元素反應機構的說法：液相霧狀燃料粒子組成成分之中，有一種含有氫原子（H）物質，先脫離液相霧狀粒子羣，而轉化成為固相碳基（C）單體，組成黑煙成分。

綜合以上的說明，一般認為道路環境中大部分黑煙來自柴油液相燃料轉化為氣相燃料後，在燃燒室內經過不完全燃燒所排出瓦斯中，含有殘留固體碳的粒子，而形成黑煙。

*日本關東學院大學名譽教授

**行政院衛生署環境保護局科長

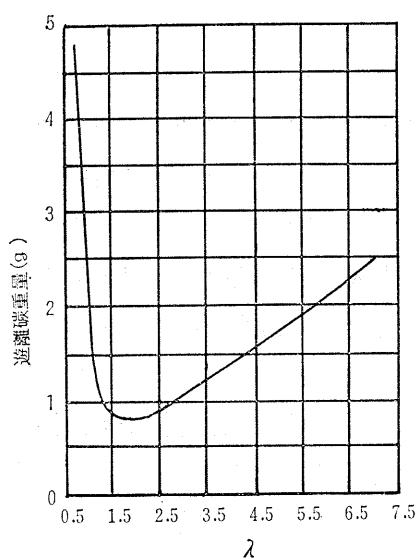
表九 排放黑煙成分元素分析（柴油引擎）

成分重量(%)	C	H ₂	灰分	O ₂
低負載時黑煙	88	1.35	2	8
¾負載時黑煙	94.7	0.66	0.5	4
燃料組成	86	13	0.2	0.98

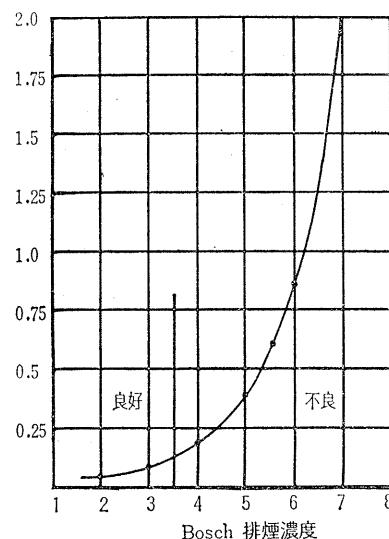
資料來源：H. Stoll, H. Bauer: Rauchgasmessung bei Dieselmotoren-MTZ. Jg. 18 Nr. 5. 1957.

以下再以幾個圖例來進一步檢討形成黑煙過程之液相燃料燃燒現象：

爲求完全燃燒常使用機械壓縮自然着火，但如圖十六表示與空氣的供給有關，即空氣供給過剩率偏高或燃料與空氣比例不平均等因素，將影響不完全燃燒的狀態。圖十七表示不完全燃燒時 CO 發生量與排放黑煙濃度的關係。



圖十六、壓縮自然著火引擎之排氣中所含遊離碳重量 (J.C. Holz, M. A. Elliott)



圖十七、壓縮著火引擎之 ν (CO) 與排煙濃度顯示值之關係 (H. Siebukig, W. Schell)

若是汽油引擎，雖然不完全燃燒，也不致排放黑煙，其原因是燃燒過程中，汽油燃料的氣相霧狀粒子與空氣混合及反應均勻的結果。

相反的，柴油引擎中的液相霧狀粒子，大小不均一，個個壓縮轉化自然點火，其中有空氣供應不足等因素，促使不點火而造成不完全燃燒，隨即排放黑煙，被認爲是液相燃料與空氣之間混合氣形成狀態不均勻，導致反應不均勻的結果。

有關燃燒程中的均勻反應或不均勻反應的差別，可解釋爲均勻反應是表示燃燒過程中熱與化學達到平衡而保持同樣的安定狀態，而不均勻反應，則表示不平衡又不安定的狀態。

燃燒過程中隨時間的經過，會發生燃燒狀態不穩定搖曳變動，所以沿用發生學原理，類似萌芽方式，假定引擎或燃燒室內的燃燒物質之中含有一種「火焰核」，而這種物質的形成可視為當液相霧狀粒子，一個個經過進行、持續、發展、中絕、停止等之程序後所轉化而成。

由此過程可以定性說明燃燒形成物由 CO_2 、 CO 、 HC 、 NO 及 C 等成分組成。火焰核的產生或消滅是由液相、氣相、固相之個別大小不同的粒子或分子所具有的熱力學量，即自由能來左右。自由能包括粒子的體積能量和表面能量（與表面張力相對應），因為體積能量愈大則自由能減小，表面能量愈大則自由能增大，因此由液相粒子轉化為火焰核時，液相粒子的大小扮演極重要的角色。

一方面，霧狀粒子轉化為火焰核時，也受到火焰核四周環境溫度極大的影響，如果燃燒過程中，火焰核的溫度不會升高而存在於燃燒生成物中，和四周環境溫度達到平衡，則表示燃燒過程已經終了。相反的，如果火焰核的溫度和四周溫度差距尚大，即處於熱不平衡狀態，則表示在氣相燃燒生成物中存在著由火焰核轉化而成的游離碳粒，也正表示燃燒現象仍然繼續在進行及發展過程階段。

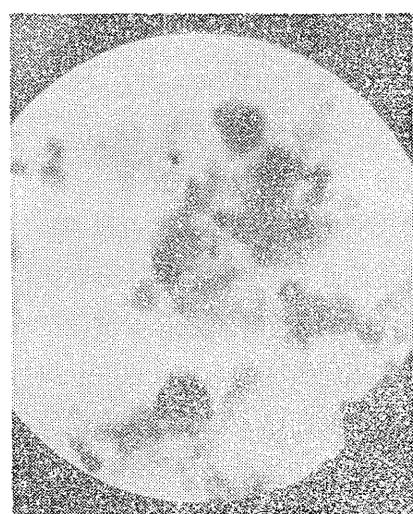
換句話說，當火焰核視同遊離碳粒時，排出的燃燒氣體形成黑煙，而其濃度隨實際操作的條件而有所不同。燃燒過程中排出之黑煙是由不整齊形狀的微小碳粒聚集成塊狀的。

有時在燃燒過程中，氧化反應時，缺乏氧氣或燃料粒子而呈快速蒸發及分解作用，而形成碳化物質之凝聚物，構成可見黑煙的。

採取排出黑煙以顯微鏡照像，如圖十八、十九可清晰瞭解每個碳元素粒子的標準直徑尺寸為 0.01μ (100\AA) 乃至 0.05μ (500\AA)，此類單體碳粒子經凝聚粗大化，可達 0.2μ (2000\AA) 乃至 0.4μ (4000\AA) 的浮游碳粒，經由排氣管排出大氣。



圖十八、游離碳粒羣由電子顯微鏡
10,000倍攝影



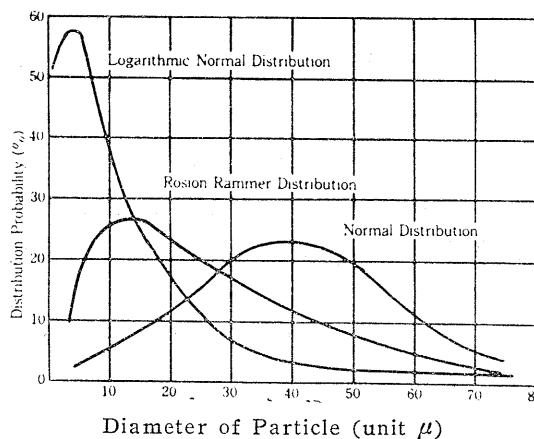
圖十九、集成塊狀之游離碳粒由電子
顯微鏡1000倍攝影

第五章 黑煙濃度之測定方法

對排放黑煙之有色度或黑色濃度的判定，可直接用肉眼來觀測，這是一般慣用最簡單又容易的方法。但是用此方法容易產生測定者個人的誤差，以過去的經驗，即使是同一觀測者，若是環境不同，對同程度的黑煙濃度主觀的看法也會不同，所以易造成不正確的判斷。例如背景明亮時的黑煙容易識別，但是暗的背景時則識別困難，這種事實的存在表對排煙色彩的判斷很容易受視覺因子所左右。因此，如能採取科學的測定，而作較客觀的驗證，比較可以達到公正。本章以下即作此探討。

5-1 黑煙濃度

不管主觀的或客觀的識別排煙，排出瓦斯的有色程度是由碳的粒子羣構成，使黑色有濃淡的差別，也即是說以排出廢氣內殘存的碳粒子數及其大小來決定。所謂排煙濃度就是實際排出擴散在空中的汽車廢氣內凝聚的碳粒子之大小及數量，而且具有某一種特性的傾向。對排煙濃度之有色度的定量，必須要注意排出廢氣內殘存之碳粒子的粒徑，即某種粒徑及單位體積的粒子數，這種以粒子數濃度來作有色度制定標準之法非常慣用。



圖二十、粒子大小分布模式曲線

關於粒徑的分布模式，可以如圖二十來表示，例如用常態分布，Rossin-Rammer 分布，對數常態分布等的出現頻率分布曲線來表示，但是粒子的大小分布卻是廣範圍的，如想利用粒徑大小的分布來直接確認有色度或黑色度是非常困難的。換句話說，不能由粒徑分布來直接判別黑煙濃度的。有人只注意以排出廢氣中的粒子數量表黑煙濃度，這種方法只表單位體積的粒子數而已，粒子數濃度受粒徑大小所左右，形成不規則的關係，因此有人建議改以單位體積的粒子總重量來規定排煙濃度。這個理由自然容易了解，然而用來作根據的單位體積粒子會因排出廢氣流量的增加，使得大大小小的各粒子互相衝擊破碎，又增加粒數。因此粒子數濃度與粒徑分布同樣不能確定排煙濃度。我們不得不重新衡量新的基本方法，有人開始注意粒子的光學性質，就是浮游在排出廢氣中的粒子不管粒徑大小，大家都知道，入射的

光線又會反射出去，利用反射時的反射散亂光，以間接的方式，來判別空氣污染的污染度，即有色（黑色）的程度，這種想法逐漸被認為是比較容易理解又可行的。

5-2 實用黑煙濃度的判定方法

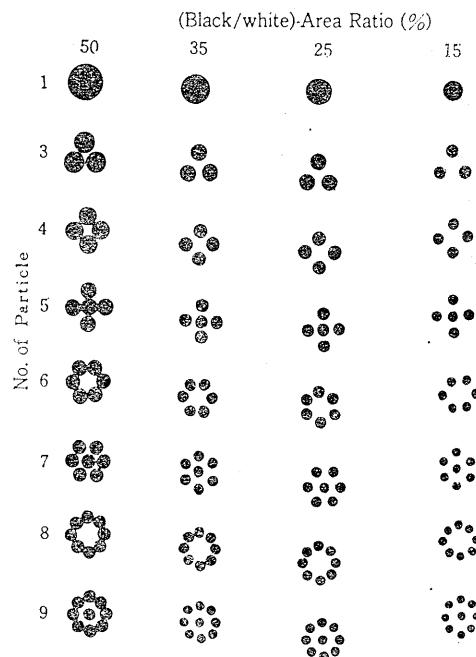
燃燒形成物即排出的廢氣，於大氣中擴散時，其所排出的廢氣，形成的有色度（黑煙度），與排出廢氣中存在的碳粒子之光學性質有關。決定黑煙濃度的黑色度是否與白色對比來區別，或者與清澄透明無色的大氣圈被污染的黑色度來判定，此二項的檢討要有固定明確的根據，即標準的方法來確定。實際上過去的判別處理常採取主觀的測定法，其中例如 Ringelmann 法，用肉眼來觀察的方法過去常用，大家都知道經常測定者的個人差及天候狀態，會左右主觀之肉眼觀察結果，因此尋求客觀的測定方法也是勢在必行的。較客觀的方法例如以光電素子（例如光電管、光電池）做媒體，稱為光反射法（又稱濾紙法）的間接光學方法，也就是由白色的對比或比色來測求黑煙濃度。這種測定法不是指示黑煙濃度的絕對值，而是間接地量測與白色的相對的關係值而已。另外與反射光法完全相反方式的方法，叫做透光法，這方法係對無色清澄的空氣，由於污濁的排煙，影響到透過光的衰減程度來測定黑煙濃度的方法，因與肉眼觀察近似，可認為係採取直接的判色方法，然後再進行比較客觀的判定。用反射光法或透光法二者測定內容並不相同，所得測值應該如何校正？二者之間的相關關係如何？類此問題值得推敲。反射光法（又稱濾紙法）是使排出碳粒子污染白色濾紙，再以入射光照射，注意反射光量大小，以沒有污染的白色濾紙的指示值為 0，黑色的為 10 來表示。

其次說明透光法（又稱空氣柱法）。這種方法係把入射光引入一個清澄透明的氣柱之中，入射光變成透過光的量隨黑煙濃度增加使透過光量衰減，測量衰減的程度，以沒有衰減的不透明度為 0%，光完全被遮斷的為 100% 來表示。

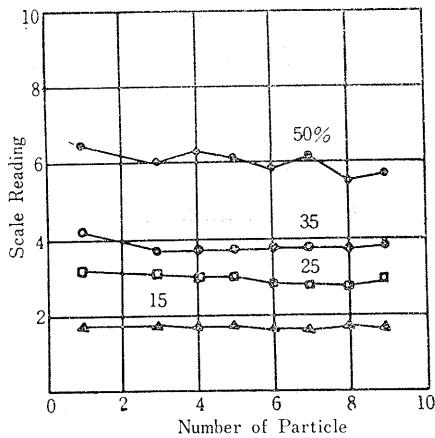
如果特別注意反射光法及透光法的入射光所及的受光面積，此受光面積被排出廢氣內存在的不同大小碳粒子及其粒子數量所占據，其存在形態可由光學測定方法來確定。為方便說明，先假設有兩個同樣大小的受光面積，在此面積內，粒子個數少而粒子大的情形，與粒子個數多而粒子小的情形，以反射光法與透光法此兩種方法，分別由光學密度指示值來表示其測定結果，究竟會產生怎麼樣的差異呢？這樣的探討似乎十分有趣。為方便印證，以模型如圖二十一所示，黑色尺度以面積比，即（黑色／白色）的比例定為 50, 35, 25 或 15%，將此比例以粒子個數（隨粒徑而變化）由 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 個來構成。

用反射光法時，將它描在白色板上，用透光法時，則將它描在透明的賽璐珞板上，作成我們所要的試料，然後進行測試。

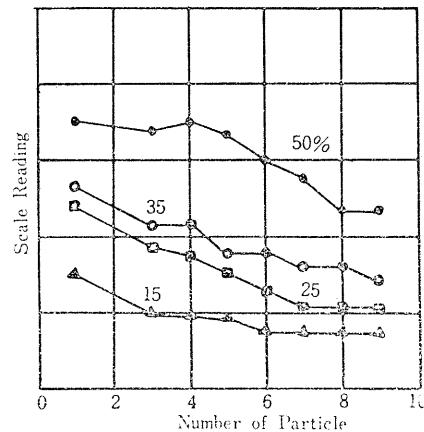
測試結果表示如圖二十二及二十三，由這個結果可以發現，不同光學現象受粒徑（粒子的大小）及粒子數此二因子所影響使然。而且可以瞭解，反射光法受到粒子數變化的影響不大，而透光法則因粒子數的增加，顯示值有明顯的變化。



圖二十一、粒子數與面積比之關係



圖二十二、光反射(擴散)對粒子數之影響



圖二十三、光損失對粒子數之影響

關於此二種方法的比較，雖然是同樣以黑色尺度，但是可看出顯示值有所不同的傾向，這個結論可用來說明粒子對光學的物理特性的影響。換句話說，散亂與反射的不同會左右光量變化，粒徑若是變小，由於光散亂而減小反射光量，反之大粒徑之粒子的表面積大，反射光量和面積成正比，使之反射光量增多而散亂光量減少。

5-3 視覺法

此種方法久為大家所認知，如圖二十四所表示，依據林格曼 (Ringelman) 排放煙 (煤) 濃度計發展而來。本來此濃度計使用於煤炭做燃料之時，由煙囪所排放煙 (煤) 之黑煙濃度的識別用的。用寬度 250mm 長度 1000mm 的白紙 (無色均質) 以 0 度 (號) 至 5 度 (號)

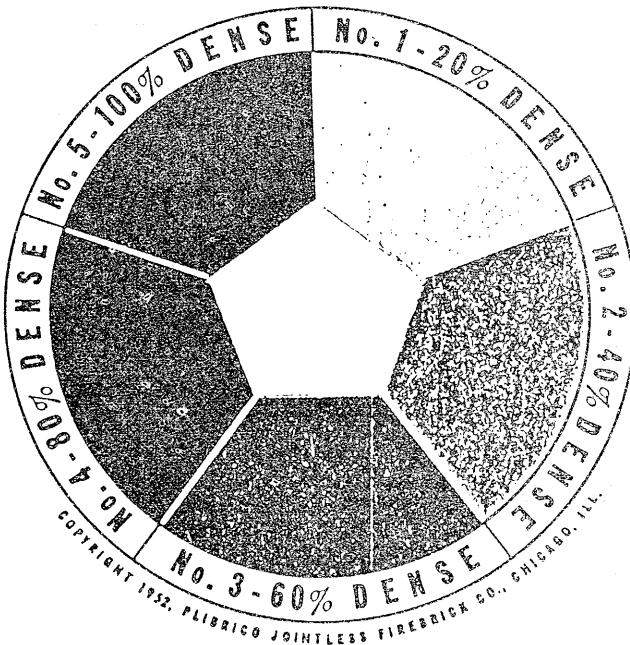
濃度計	黑線寬度	白線寬度	通過光線	圖示
0度	全部白	—	100%	林格曼煤煙濃度表
1度	1.0mm	9.0mm	80%	
2度	2.3mm	7.7mm	60%	
3度	3.7mm	6.3mm	40%	
4度	5.5mm	4.5mm	20%	
5度	全部黑	—	0	

圖二十四、林格曼煤煙濃度標準

) 作 6 階段的分類來設定黑煙濃度的標準。

將林格曼 (Ringelman) 標準濃度與實際的排放黑煙濃度相比較，此時用肉眼裸眼來觀察比較，例如注視離站處 16m 走在路上的某部柴油汽車所排放的黑煙，為判斷太陽光通過排放黑煙中時，被黑煙遮蓋的程度，測定者必須站在太陽光線由側面照射的方向位置才可。

用此種方法而對移動中的各型柴油汽車排放之黑煙濃度作判定，非常簡便，並有隨時可以執行的好處，但是也有人指摘，太陽光線的強弱、天候的狀態、背景的條件等等，易形成顯著的影響等缺點。為考慮克服此等的缺點，將林格曼排煙濃度計作更小型化，使用上更簡便化，PLIBRICO JOINTLESS FIREBRICK 公司（美國芝加哥）改良成為圖二十五所示的樣本，這是美國公共衛生局 (PHS) 所指定，為使能更正確地測定，由中央的五角形窗觀察實際上排放的黑煙，與指定的基準色相比較，求其近似色來判定的方法。



圖二十五、改良式林格曼煤煙濃度標準表

由此活用林格曼排煙濃度計來對實際行駛中各型的柴油汽車排放的黑煙，在什麼場合或條件、狀態下排放黑煙程度，此項說明參照下表十：

表十 林格曼黑煙濃度與行駛條件的互相關係

基 準 度	行 駛 條 件
0—1	良好的行車狀況
2	巡迴行駛之時 0—1 度，起動、急加速、變速之時排煙。
3	巡迴行駛之時近 2 度，起動、急加速、變速之時排煙。
4 以上	一直排煙，起動、急加速、變速時排放濃厚的黑煙。

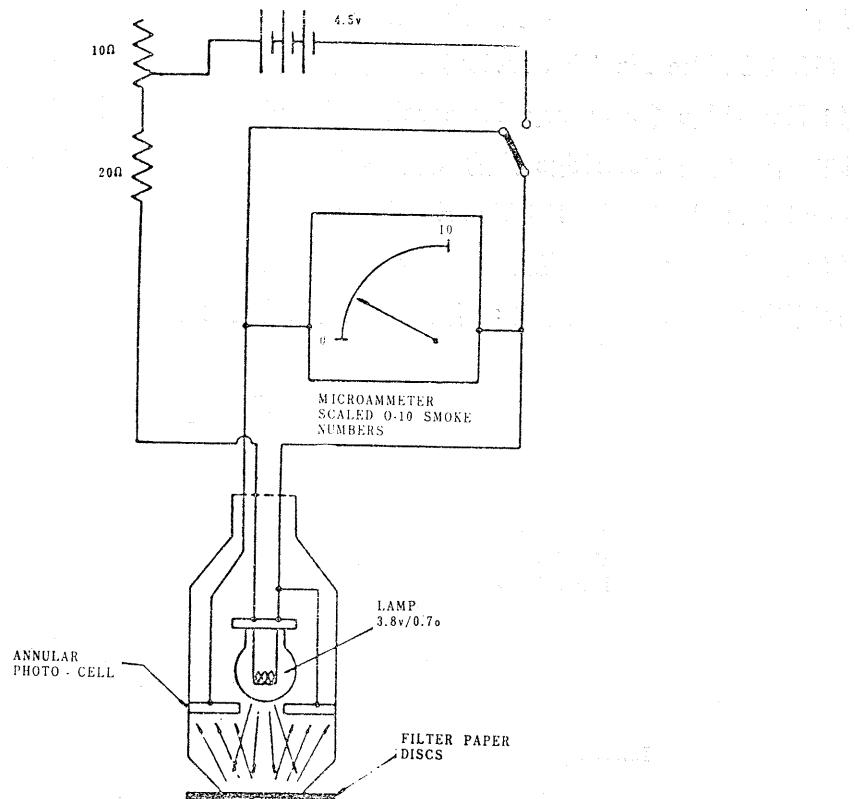
所以一般柴油汽車行駛中所發生之排放黑煙濃度的最大容許濃度值為 2 度（號）。

5-4 反射光法

反射光法此法又稱濾紙吸咐法，在進行測定前，先將一定體積的排放氣體通過白色濾紙，此時排放氣體中存在的碳粒子過濾在白色濾紙上，次將此濾紙做試料，投以入射光，測定其反射光的光量，做為判定黑煙濃度的大小，這種方法目前被應用最為普遍。其中 Bosch 式反射光法特別有名。要實施此方法，用作黑煙濃度測定的試料為白色濾紙上，約需直徑 32cm 圓面積的碳粒子的附著，此時的排放氣體吸引量為 300cc，並特別規定排放氣體在吸引時引擎活塞全行程在 2 秒鐘以內完成。

取試料如圖二十六所示，加入射光（投影光）後，由光電素子（光電池）的操作，測出反射光的反射光量，其顯示值以白色為 0 黑色為 10 來表示，有時也以此數值的 10 倍來作為顯示值，此種測定法其作業容易，機構又簡單，所以廣被利用。但是，(1) 製作試料限制在穩定行車狀態下進行，(2) 求得黑煙濃度顯示值不能直接讀取，此二點對實際在行車間所發生的急

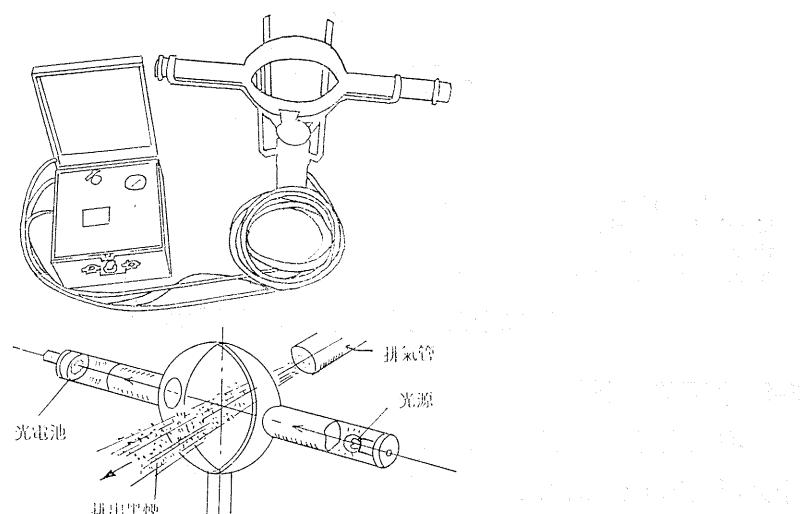
加速、或加速、或減速度等操作狀況，並非穩定行車狀態，很難以執行測試取樣，而且也不能連續測定的困難。為了彌補上述在試料製作上遭遇的問題，及作連續性試料採取的方便，將濾紙作為帶狀，已發展出能連續測定的裝置。一般最大容許顯示值定為5.0（或50）。



圖二十六、反射光法（Bosh式）之實施要領圖

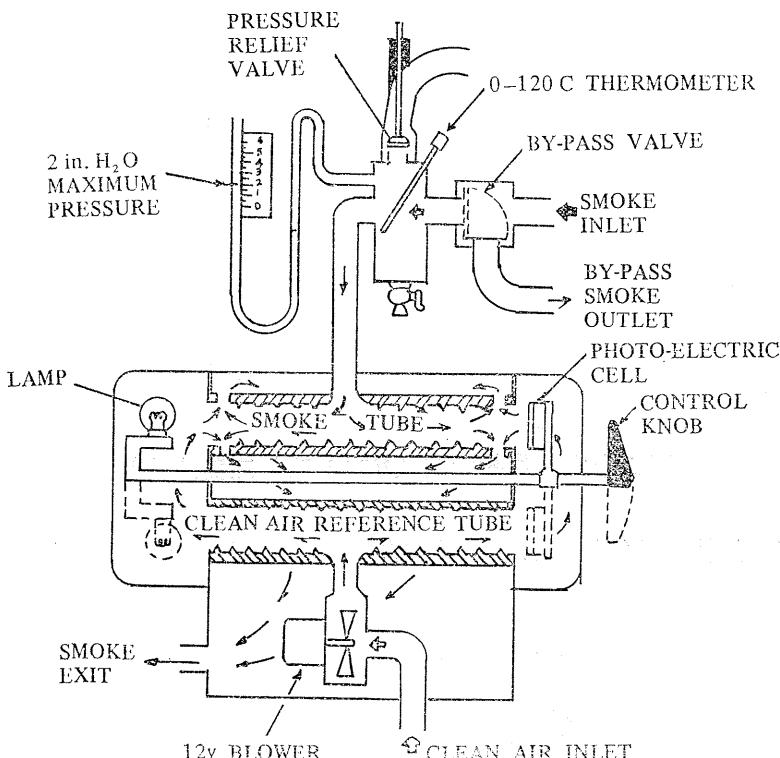
5-5 透光法

此種測定法的特徵是例如圖二十七所示的，將全量的排放氣體為測定對象的作法。發放



圖二十七、透光法（PHS式）之實施原理圖

出一定量之光量的光源（電燈），及其感受部（光電管或光電池）的中間導入排放氣體，使與光軸線直角或平行令其通過，此時感受部被排放氣體的黑煙濃度遮住，投射光只部分通過，而透過光的光度會變化，此種變化量由光電管或光電池來瞬間求取，以數值顯示出來。利用此原理設計發展出來，實際上適用又應用以測定排放氣體的全流量測定器，例如 PHS (U.S. Public Health Service) 式測定器，又抽出排放氣體的一部分來測定的測定器，例如 Hartridge ('Sunbury Research Lab. of British Petroleum) 式等比較有知名度，圖二十八就是 Hartridge 式的示意圖。其他還有 UTAC (Union Technique del, Automobiel et du Cycle, FRANCE) 式等，這幾種都以透過光的衰減量作為黑煙濃度的顯示值，靈敏性高，不論穩定或不穩定行車狀態均可能作連續測定，也因此被公認對行車中的排放黑煙濃度測定之最佳方法，而由此方法所求的最大容許值為 45% 左右。



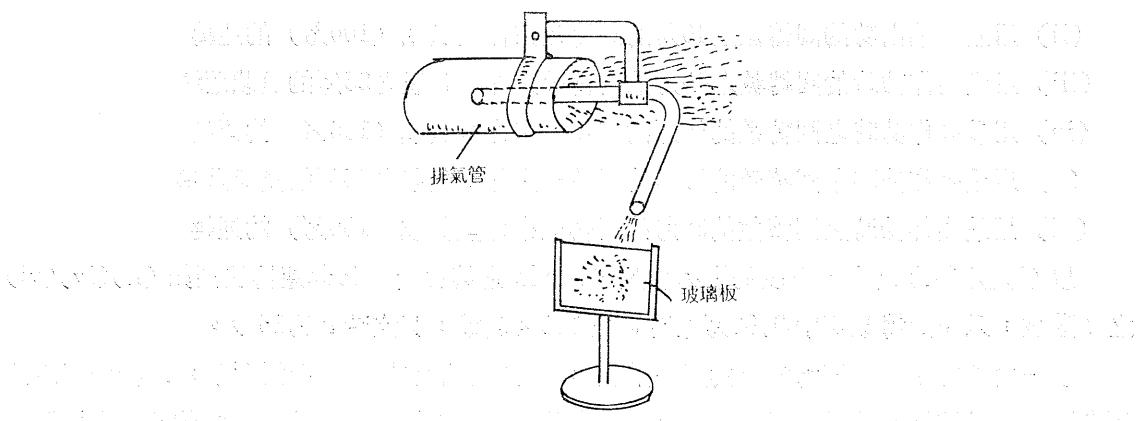
Hartridge direct light smokemeter. Two identical measuring tubes are used. One tube is continually scavenged with clean air under slight pressure; second tube is fed exhaust gas under normal exhaust system pressure. Light source and photocell can be moved to the ends of both tubes. The use of matte black measuring tubes having internal circumferential fins minimizes internal light deflections.

圖二十八、透光法 (Hartridge 式) 之實施要領圖

5-6 簡易型試料採取法

在穩定行車狀態時的排放黑煙濃度測定，可用最簡單的方法來進行，採樣的方法如圖二十九所表示，使柴油汽車在定置狀態，從排氣管末端向管內軸中心挿入長 500mm 採樣管，再沿直角方向彎曲，此管長 500mm，管內徑 15mm 左右，由鋼管或銅製管做成，接著放置

採樣板，在離採樣管末端 15-30mm 位置上，放玻璃板（普通市面販賣之玻璃板，但最好是用耐熱玻璃板）在此片玻璃板上，普通以 3—5 秒間，無負荷惰轉時為 6—10 秒間採樣。經此過程排放出廢氣，然後由此玻璃板上採取黑煙粒子，此時玻璃板上附着的碳粒子之形態呈中心部濃，中心向外漸漸變淡，檢視玻璃板上 15mm 乃至 30mm 左右的圓面積上的形態，為方便目測或以他法測定，通常把附着碳的粒子之玻璃板下面放置白色紙或白色板，然後由上方用黑色底片照像，接著將所攝得的照片，例如以光反射法可測其濃度。

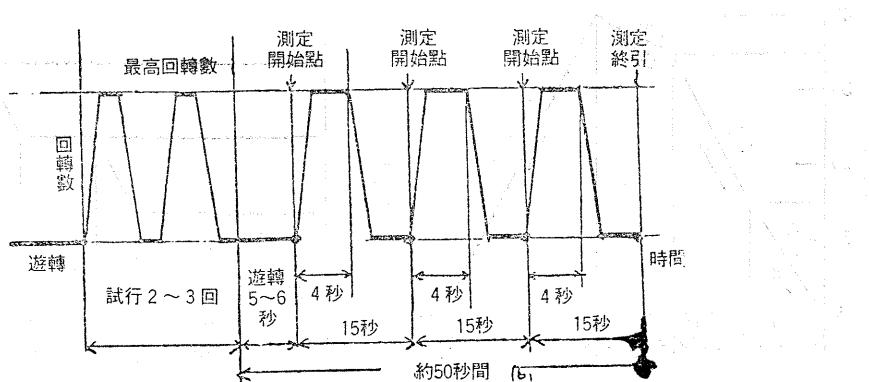


圖二十九、簡易型採樣法

5-7 無負載急加速運轉法

以此方法為判定排放黑煙的程度時，也有容易執行的特點。實驗時將使用中的柴油汽車啓動運轉狀態，然後令其保持原狀，變速機槓桿設定在中立位置，由無負載惰轉漸漸加速到最高回轉數，利用回轉數變化如 100 回轉或 200 回轉等之變速運轉時，對應的求取其排出黑煙濃度的方法。

實際上雖然規定無負載條件下測試，但柴油引擎一發動，便隨著回轉數加速作功。此外，又有柴油引擎的運轉摩擦而消耗損失馬力等，致使新的柴油引擎和舊的引擎測試結果之間會發生差異不平衡，所以急加速時的狀態，似乎也須要考慮當作測試條件之一，求取結果後作修正比較。圖三十表示此法的測試過程，如圖所示分段測試時間及測定開始點，用此方法對一般使用過程中的柴油車輛再輔以反射光法來測求其黑煙濃度，顯示值的容許限界是 5.0 (或 50%)。



圖三十、無負載急加速運轉法之測試過程圖

5-8 模擬運轉模式法

此方法主要是考慮回轉數和負載互相對應配合，若是在台上運轉（Bench Test）測試時，使其近似於在道路上行走的狀態，即以模擬設定來作測試排煙濃度。

其所用近似法有叫做 6 Mode (6 模式) 或 3 Mode (3 模式) 法者，6 模式的測試步驟如下：

- (i) 無負載運轉 (idling) ,
- (ii) 用最高輸出功的回轉數之40%的回轉數來作全負載 (100%) 的運轉
- (iii) 用最高作功時的回轉數之40%的回轉數來作全負載之25%的負載運轉
- (iv) 用最高作功時之回轉數的60%的回轉數來作全負載 (100%) 的運轉
- (v) 用最高作功時之回轉數的60%的回轉數來作全負載之25%的負荷運轉
- (vi) 用最高作功時之回轉數的80%的回轉數來作全負載 (100%) 的運轉

以 (i) 至 (vi) 為止 6 階段的過程就是 6 Mode 運轉法而 3 Mode 運轉法則如 (ii)(iv)(vi) 之 3 階段，只在回轉數 40,60,80% 之時實施 100% 負載，測定時間約 15 秒。

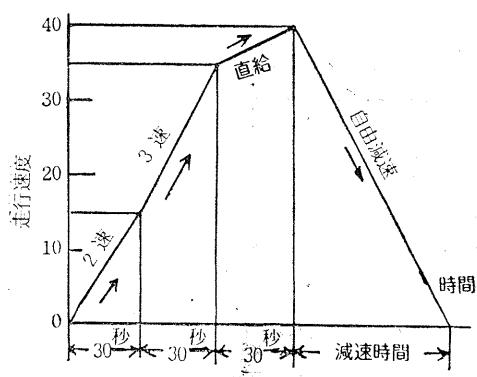
以上兩種方法測試運轉開始的第一階段，作無負載運轉實施 20 秒以後，才接著實施其下各階段測試運轉。其排放黑煙濃度之最大容許界限值為以光反射法測定時的 5.0 或者 50% 以下。

5-9 加減速及定速行駛試程法

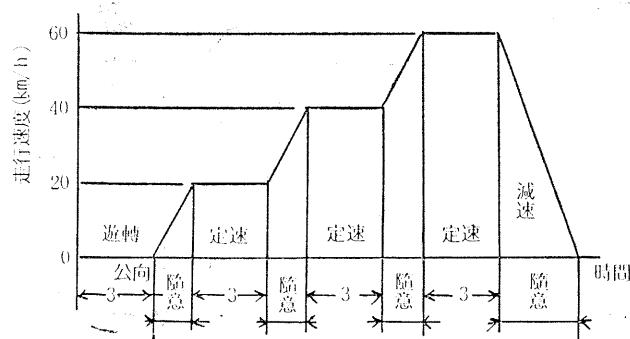
本方法係對應柴油汽車行駛時速度的變化，測試排放黑煙濃度的另一種試驗程序方式。

首先模擬汽車實際在路上發動行車之時的行車狀態，經過空轉不加速、加速、減速及定速行駛等的複雜操作階段的試驗程序組合後，再測求排放黑煙濃度。實際訂定本法的試程各階段時間，係選出使用中車輛最可能方式，來設定行駛車輛具代表性的試程，如圖三十一、圖三十二所示。

加減速模擬行駛試程法的實施，如圖三十一，原則上各速度變速之間隔時間以每 30 秒間變速一次，而依照一定速度行駛如圖三十二之定速行駛試程法，則以 3 分鐘 (180 秒) 為一個階段。



圖三十一、模擬行駛試程



圖三十二、定速行駛試程

這兩種都是依照區分行駛程序產生的排煙濃度的測試方法，而試驗程序每階段時間力求近似於實際行車狀況，所以由此方法之一般排出黑煙濃度的容許界限標準值一般設定為以反射光法求得顯示值的5.0或50%以下。

第六章 各測定黑煙濃度方法求得顯示值之相對關係

都市交通運輸系統中擔當重要角色的柴油汽車，它因不完全燃燒或交通阻塞所排放的黑煙可以肉眼察覺，因此而帶來了許多都市居民的抱怨，甚至給與步行者或機車使用者心理上極不快的感覺，如果使用的柴油當中含有多量硫分，排放到大氣中和碳的粒子結合形成硫氧化物，更容易造成呼吸諸器官障礙，並引發其他疾病，對公共環境衛生產生不良後果。柴油汽車排放黑煙的問題，不僅從交通運輸的立場，為求得最小的環境衝擊量，必須對於柴油車所排放出來的黑煙作定量測試，居於醫學保健的觀點，甚至在柴油引擎的維護管理上、耐久性、壽命的觀點等等，黑煙濃度定量的技術必須更進一步加以探討。

如前章所述，在檢測黑煙濃度的各種方法當中，例如最初最具傳統性的方法是以肉眼觀察的印象，立即和所設定對比色標準進行對比，憑著主觀直覺判斷求出林格曼(Ringelmann)濃度值。最近慢慢發展出所謂反射光法、透光法等各種較進步的儀器測定法，改善了不少以往的缺點，但是仍然還沒有達到盡善，換句話說，在未來發展黑煙濃度測試法的方向很顯然地應脫離主觀的直覺判斷，而趨向於客觀的科學測定，而且亟須再接再厲地研究發展。

但是，再回頭來推敲一下所謂「排放黑煙濃度」它的真正意義究竟為何？與這個定義可以相對應的測定方法是那一種？它的合理性和準確性又是達到何種程度？已經發展出來的各種測定方法之間究竟有何相對的關係？這些問題如果想要獲得滿意的解答，請再詳讀本章。

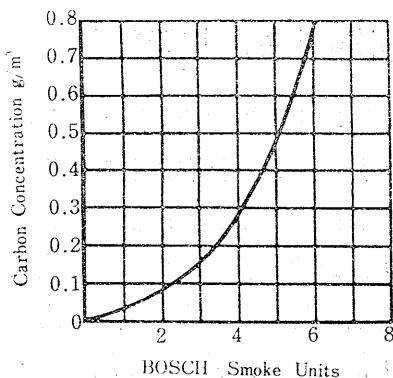
截至目前，從各項研究、實驗、觀察或檢查均一致地指摘，柴油汽車引擎不正常運轉所排放出來的廢氣中，所殘留的碳粒子是造成環境破壞或空氣污染的禍首。居於這種事實，作者認為「排放黑煙濃度」可以下面簡單的式子來加以定義，

$$\text{排放黑煙濃度} = \text{單位排放氣體體積 (m}^3\text{) 中所含碳粒子的重量 (g)}$$

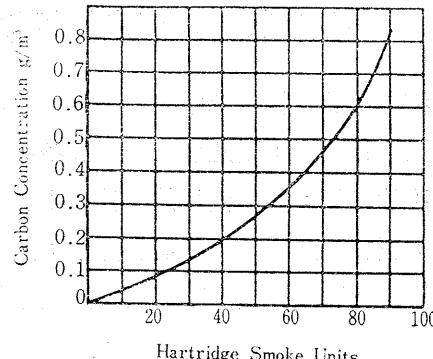
根據以上的定義，各種測定法所求得的測定量（顯示值）均必須和它的意義不相違悖，而所謂客觀而實用的評估黑煙濃度（柴油汽車）的方法，並不受國內或國外、國情、民族的差異等外在環境因素所左右，更不分是巴士、貨車或客車，大型、中型或小型，追求相互間可比較的評估標準的理想似乎變得很容易理解。但是很不幸的，以目前已發展出的公認的幾個測定儀器來說，各有其優劣點，要想從其中推薦一種最符合以上定義的測器，而能放諸四海皆準，在目前似乎還不太可能。更進一步地說，能為國際上所共同採用的測定儀器，不僅僅因為它的測定法實用而簡便，更重要的是它的測定結果必須能作無條件的比較，而且可依此制定出一套萬國通用的統一標準才行。

現在一般所慣用的主要測定法是反射光法（濾紙法）以及透光法（氣柱法），此兩種方法的測定量（即顯示值）是否相同，須要互相比較稽考，依照產生排氣黑煙濃度的定義，參

照圖 6—1，圖 6—2 的圖示可明瞭，反射光法及透光法所測出的顯示值的確有若干不同，其理由是，對黑煙濃度作制定時，試料採取方法的不同，及對入射光產生反射光量與散亂光量的處理方式不同所造成的。

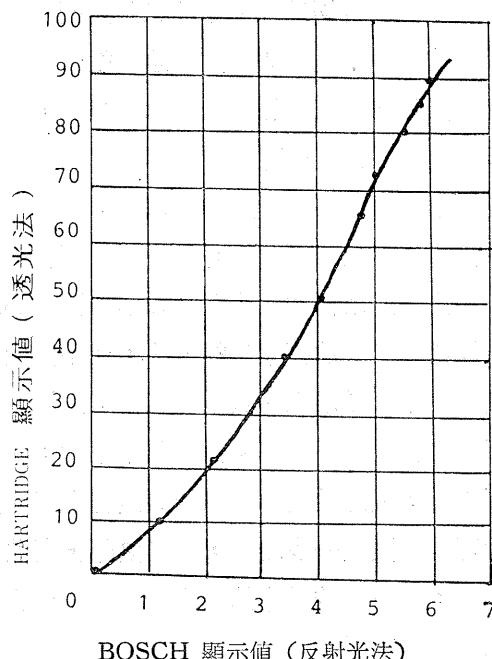


圖三十三、BOSCH 顯示值與排放黑煙
濃度（碳粒量）的關係
〔British Standard: AU141a〕



圖三十四、Hartridge 顯示值與排放黑煙
濃度（碳粒量）的關係
〔British Standard: AU141a〕

而且，由圖三十三，三十四所示還可以看出，反射光法（Bosch 顯示值）與透光法（Hartridge 顯示值）的相對關係，如圖三十五所示的英國標準（British Standard: BS-AU141a-1974）可看出反射光法與透光法間的對應不是形成直線而是呈曲線狀，這結果很顯然地被認為是因為測定方法不同所造成的。



(U. S. A. SAE-J255a, British Standard: BS-AU141a-1974)

圖三十五、反射光法與透光法之相關性

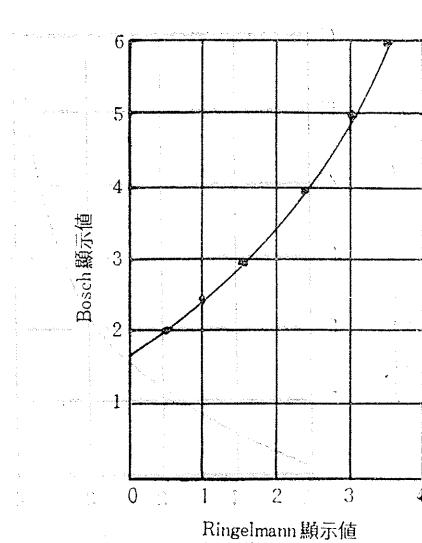
故現在各國都市慣行獨自採取測定法，並規定最大容許值以作依據，最新各國資料歸納整理出來如表十一謹供參考。

表十一 排放黑煙管制標準值

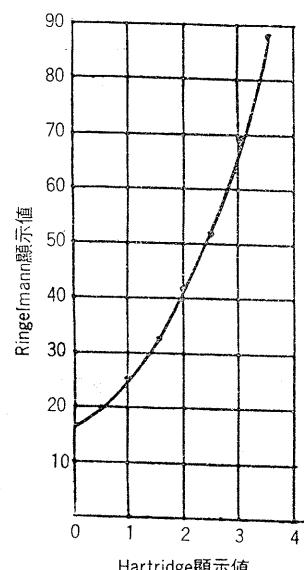
國名、都市名	測定法名稱	測定器名稱	最大容許標準值
日本	反射光	Bosch 式	5.0($5 \times 10\%$)
中華民國臺灣	(靜態) 目視 (動靜) 透光	林格曼表儀器	2 號以下 不透光率 40%
美國	透光	PHS 式	(35—40)%
英國倫敦	透光	Hartridge 式	35%
法國	透光	UTAL 式	(40—60)%
西德	反射光	Bosch 式	(5.0—6.0)
瑞士	反射光	Bosch 式	(4.5—6.0)
瑞典	反透射光	Bosch 式 Hartridge 式	Bosch……(2.5—3.5) Hartridge……(30—45)%

(註) ※表乘 10 倍後之數值

表十一可知各國相異的情形，現在尚不能制定萬國共用的管制值，但是歐洲各國以及美國等國家，多有意努力制定世界性通用的標準值，檢討表十一所列，用各種測定法及測定器測出的最大容許值（即管制值）與柴油汽車排放黑煙最接近的附近人們，用裸視肉眼來主觀地感覺判斷黑煙濃度，到底有何差異依照一般大眾的過去經驗，排放在清澄大氣中的黑煙的黑色程度，由直接而且主觀的裸視肉眼來觀察，與反射光法，或透光法之客觀的測定所得顯示值互相比較，由於採視覺作依據的林格曼排煙標準值，也就是以肉眼、裸視、觀察測定的



圖三十六、Ringelmann 顯示值與 Bosch 顯示值之相關性

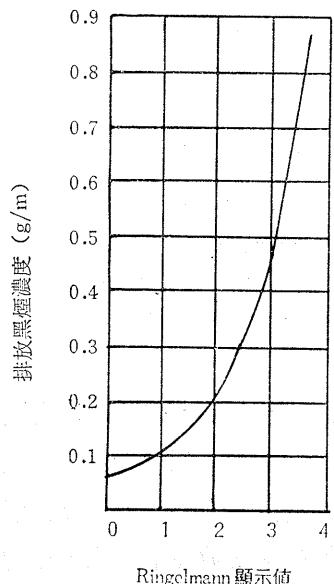


圖三十七、Ringelmann 顯示值與 Hartridge 顯示值之相關性

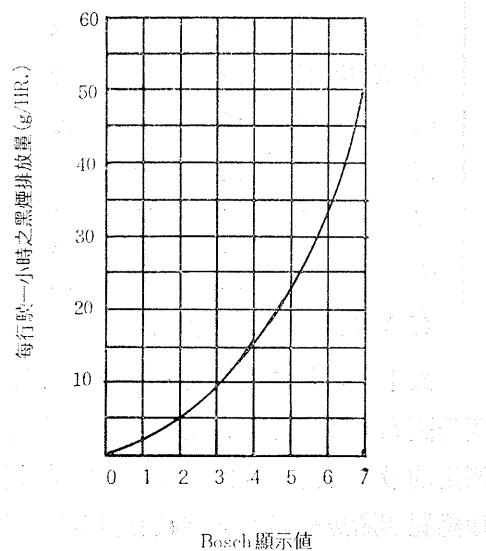
方法，比較其他二法更接近實際，人們對它的信賴性較高。

如果以主觀直接的裸視肉眼觀察測定的林格曼濃度值與客觀間接的反射光法及透光法測出的濃度值作相關關係的分析，其結果如圖三十六及圖三十七所示。

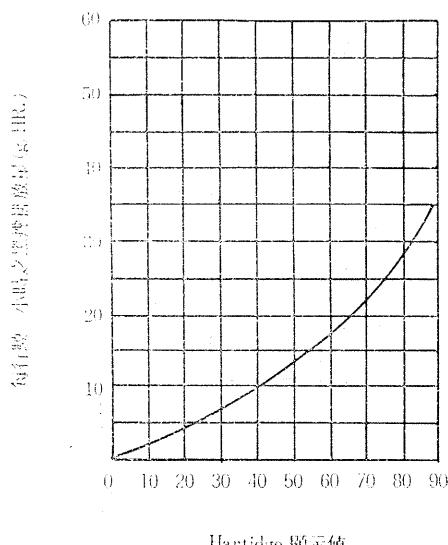
依據前述關於排放黑煙濃度 (g/m^3) 對排放氣體中所含碳粒的定義，其和反射光法及透光法顯示值間的關係已如圖三十三及圖三十四所示，至於和林格曼示顯值間的關係則如圖三十八所示。而且我們更進一步瞭解，排放氣體單位體積中所含碳粒子的重量，和客貨柴油



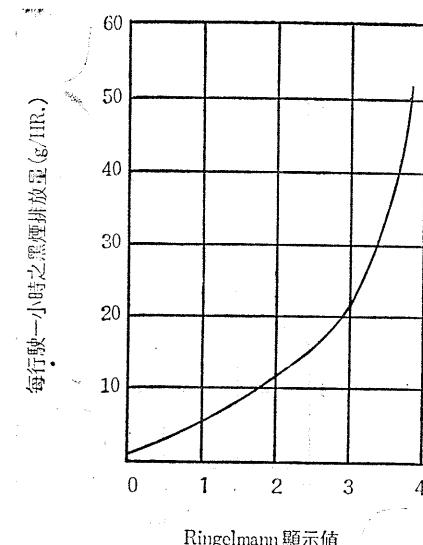
圖三十八、Ringelmann 顯示值與
排放黑煙濃度之相關性



圖三十九、Bosch 顯示值與排放黑煙濃度之相
關性 (G. Spengler, G. Haupt)



圖四十、Hartridge 顯示值與排放黑煙
濃度之相關性



圖四十一、Ringelmann 顯示值與排
放黑煙濃度之相關性

汽車每單位行駛時間排放至大氣的碳粒子量相關，特別是也和路上行車狀況發生交通阻塞的時間及當時當地空氣污染的情況相關，如何來解決這個問題？很明顯地必須從交通政策行政的立場來著手，並從車輛本身的改善雙管齊下。

圖三十九，圖四十及圖四十一分別表示反射光法、透光法及林格曼法的顯示值與隨著行車時間經過的長短時間的關係，從圖中可以發現經過時間越長所排放的黑煙濃度越濃，如果想要達到客貨柴油汽車降低排放黑煙的濃度，從圖中更可瞭解解決交通阻塞的意義及責任重大。

總而言之，在現在世界各國大都市中，為了管制柴油汽車排放黑煙所訂定濃度最大容許值，還沒有達到協議而制定出統一的標準，但是我們可以大致上作個判斷，例如林格曼法之2度，相當於反射光法的3.5，或透光法的40%，而我們為了達到環境保護防止都市空氣污染的目的，建議以達到上述三個數值的50%作為極重要必須要達到的目標值。

