

脈衝供電在靜電集塵裝置的性能改善

陳茂松譯*

一、前　　言

靜電集塵裝置（以下簡稱EP）係利用電暈放電，使排氣中的塵埃帶電而加以捕集。工業上已廣泛使用此裝置來去除排氣中的塵埃。

但是，對高電阻值的塵埃，在集塵之際常發生逆電暈現象，使集塵性能沒辦法充分的發揮，一般所採用的對策如下：

- 1.更換燃料（例如純燃煤改變成重油混燒，採用高鈉分及硫分的燃煤）。
- 2.在排氣中注入調質劑（ SO_3 、 NH_3 等的注入）。
- 3.在排氣中添加水份以調溫、調濕。
- 4.集塵面積的增加（EP的大型化或擴建）。
- 5.EP供電控制方法的改良（例如間歇控制供電，逆電暈控制供電）。
- 6.捕集電極的塵埃剝離方法。

這些方法中尚有許多缺點，諸如燃料的限制，運轉成本的增加，運轉管理的煩雜化，安裝空間的擴大，維修的複雜化，性能改善不足等。而且，若既有之EP為改善其性能，而造成現場需長期停工的困擾亦為其缺點。

脈衝供電方式可避免上述各項性能改善對策所產生的缺點，並對新設EP及傳統型EP謀求小型化，對既設EP之煙道及本體床不需任何改造，只要增設脈衝供電系統即可，且只要很短期工期便可達到性能改善。

於此，就筆者們所開發且已實用化的脈衝供電系統的原理，特徵，集塵性能改善實績，及在既設EP上的適應方法加以介紹。

二、脈衝供電的回路原理

EP係由放電極和集塵極構成本體，這兩電極間持有一靜電容量，當外加脈衝電壓之際，此靜電容量必須急速的供電。

*工研院能資所副研究員

脈衝供電的回路和已實用化的幾個既有方法有很大的差別，其電源供應方式分為脈衝電源部和基部(base)電源部獨立成 2個電源方式，及兼用一個電源方式等 2種。

2個電源方式有其優點，亦即可以獨立控制其脈衝成分電壓，脈衝頻率及基部電壓。

筆者們所完成的是採獨立回路 2個電源方式的脈衝供電系統，藉由信賴性高的機器所構成，可以確認的是集塵性能已有大幅改善。

2.1 構成回路

圖 1 所示為構成回路。

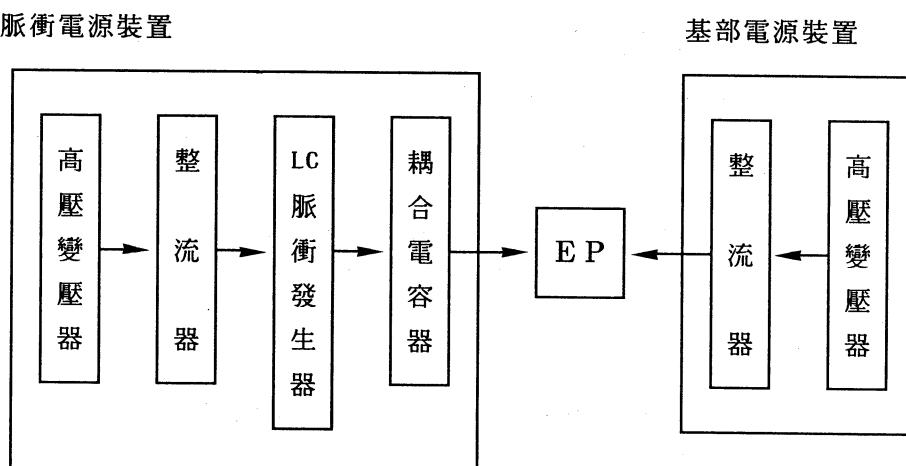


圖 1 脈衝供電回路構成圖例

在基部電源裝置，因外加一負的直流電壓到EP，而使基部電壓得以確立，另在脈衝電源裝置產生一脈衝成分電壓將與基部電壓重疊。

脈衝成分電壓係將脈衝電源裝置的激磁用正極性電壓在L-C脈衝產生器變成單發(Single shot)的脈衝，通過耦合電容而成負電成分的脈衝。

而且，藉由此回路方式的脈衝電源裝置，已經取得美國的專利，並正在日本申請專利中。

2.2 基本回路

圖 2 為基本回路。

在這回路中，EP的靜電容量和耦合電容係以串聯方式接在一起，並利用激磁用正電源充電，藉由高壓的開啓，以完成閉迴路(loop)，如此便能放電了。

而於放電之際，在回路中，插入共振線圈的電感，使L-C振動完成一循環(cycle)，如此便能獲得單發的脈衝。

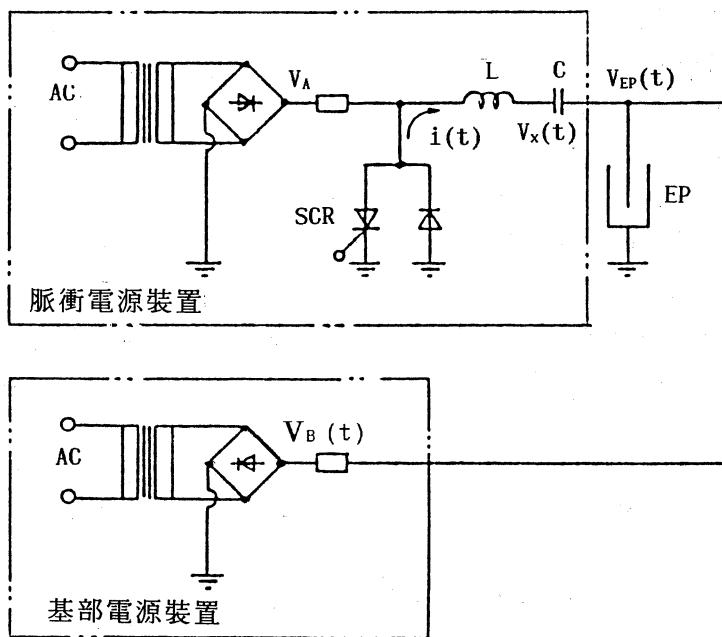


圖 2 脈衝電源基本回路

於圖 2 的回路中，各部的電壓電流如圖 3 所示。

脈衝的寬為 $2\pi LC$ ，其中 L 為其振線圈的電感值，而 C 為 EP 靜電容量和耦合電容器靜電容量的串聯合成電容量。

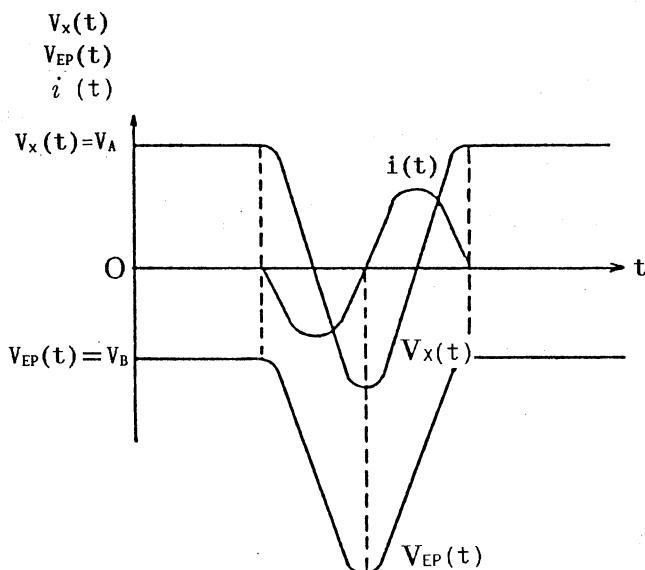


圖 3 脈衝電源基本回路各部的電壓電流

2.3 回路的特徵

圖2所示的回路，其特徵如以下4點。

- 1.不必用其他脈衝供電系統中的脈衝變壓器，電荷蓄積電容器，整流器等元件，且使用無接點方式的SCR，以構成共振迴路，藉以產生脈衝。長年的使用，其性能、特性也沒有任何變化，可以獲得長久安定性的脈衝成分。
- 2.在脈衝的產生，由於使用了EP的靜電容量與耦合電容器的靜電容量串聯合成電容量和線圈的電感所構成的L-C振動，在一定寬的脈衝下，可以於起動時或關機時，獲得穩定的陡峭脈衝成分。
- 3.在脈衝外加時，係使用能源以供電給EP，而脈衝外加後，電回收至耦合電容器，做為蓄積能源的一部份而保存起來，即一般所謂的“能源回收型”，有消費電力少的省能源效果。
- 4.在脈衝產生回路中，使用L-C振盪，其激磁利用正極性電源所產生的電壓，另要為外加至EP脈衝成分電壓的一半左右即可，如此使脈衝電源小型化，可以降低成本。

三、脈衝供電的電量放電均一化

圖4為脈衝供電、傳統連續供電和間歇供電之下的EP外加電壓波形比較圖。間歇供電方式係為斷續地進行連續式供電，而其一次的供電時間僅為數十ms。

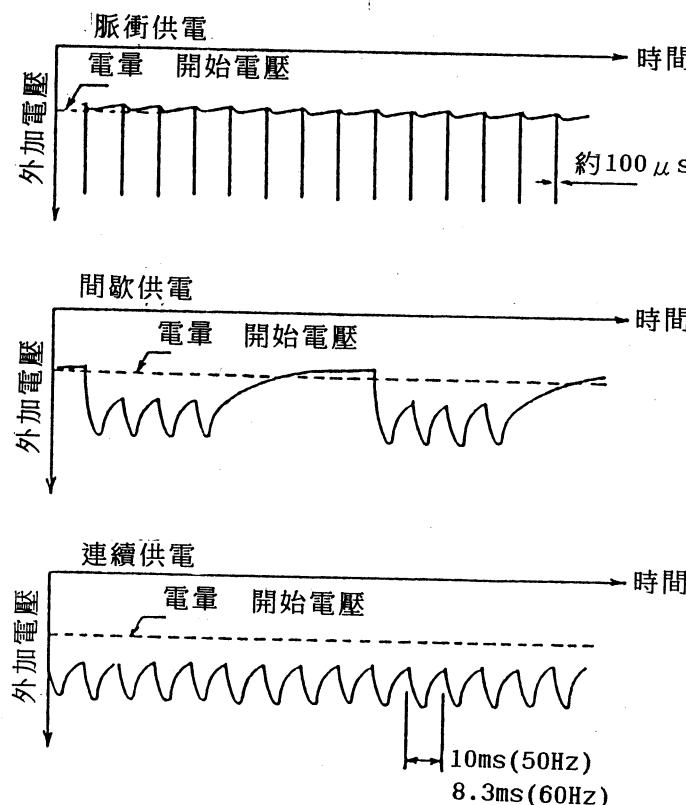


圖4 EP外加電壓波形

脈衝供電係將脈衝成分電壓重合至基部(base)電壓，而將其重合波形外加至EP。由於基部電壓通常控制在電量開始電壓的附近，所以僅有基部電壓，一般是不致產生電量，只有脈衝外加時才會產生電量。

脈衝的寬在 $100\mu s$ 左右，或將有下列情形，亦即在EP內，離子從放電極朝向集塵極移動所需時間相當的短，就是因為此離子移動時間比較短，相對於連續供電、間歇供電，脈衝供電的性能上佔有優越性，其最大主因便在此。

在EP內，由於產生電量，使放電極附近的氣體發生電離化，而生成離子後便朝向集塵極移動，在這時候將使塵埃帶電，其移動所需時間為 $1ms$ 的級數。

於傳統的連續供電和間歇供電的方式中，由放電極和集塵極所構成的集塵空間裡，充滿了移動中的負離子，此負離子在空間的電場分佈甚大，是以限制了流通離子的量，進而抑制了放電極表面電量的發生。

特別是在脈衝的寬為數十 $\mu s \sim 100\mu s$ 左右，已生成的負離子被強烈的限定在放電極附近的範圍內，而抑制了電量，是以沒有過強的局部性電量，而造成極為均一的電量分佈。

圖5、圖6為實驗級的EP之電量放電狀況照片。



圖5 連續供電之電量

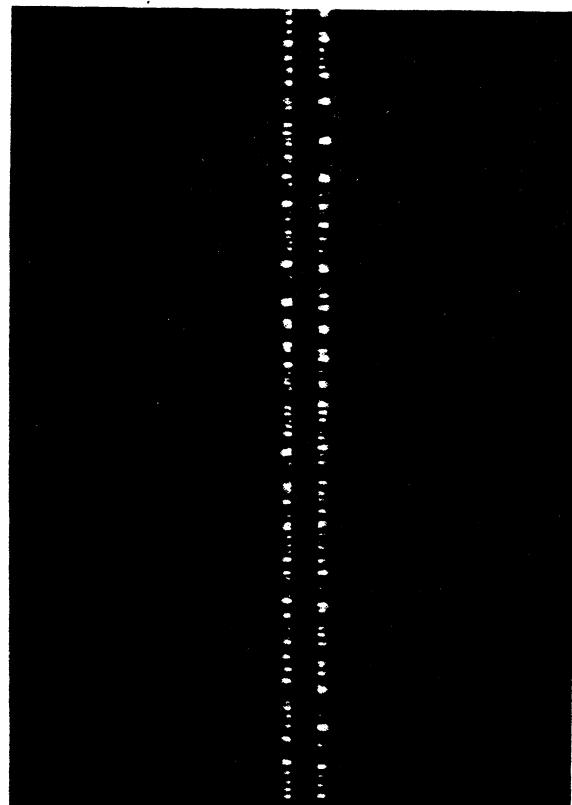


圖 6 脈衝供電之電暈

在圖 5，係在 $50KV \times 0.3mA/m^2$ 的連續供電之電暈放電狀況，在放電極僅部份發光，是為不均一的電暈分佈情形。

而在圖 6，則為尖峰電壓 $72KV \times 0.13mA/m^2$ 的脈衝供電之電暈放電狀況，其放電極係全體發光，是為均一的電暈分佈。

圖 7 為傳統供電和脈衝供電下，其電暈及離子流動的分佈情形，在脈衝供電下，有均勻的電暈分佈，以及離子流動，所以有下述之優點。

3.1 塵埃粒子更具效率的帶電

在脈衝供電，係由電暈放電所產生的流動離子，係沒有間斷的膜狀擴散開來，為此，塵埃粒子必將橫穿過離子流束，使之確實的帶電。

3.2 逆電暈現象的抑制

逆電暈現象係塵埃的電阻值高時，在集塵極所捕集的塵埃層，其間電流並不能十分的“流暢”，由於絕緣的破壞，而生成逆極性的放電現象。

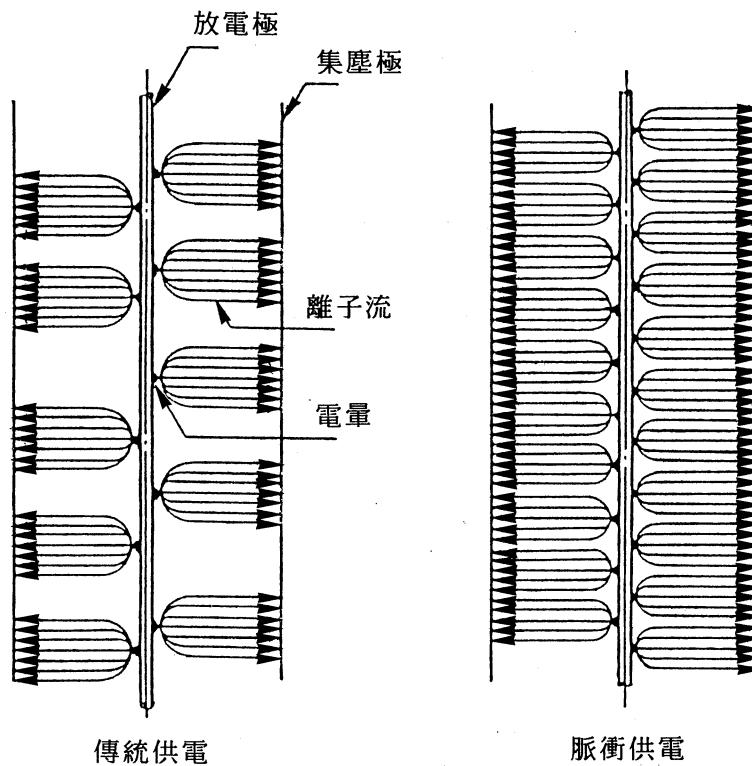


圖 7 電量和離子流的分佈

會發生逆電量現象之條件如下面所述：

$$E_d < \rho_d \cdot j$$

其中, E_d : 塵埃層的絕緣耐壓電場強度

ρ_d : 塘埃層的電阻值

j : 在集塵極面的電量電流密度

當塵埃的電阻值高時，為防止發生逆電量現象，有必要降低電量電流密度。在傳統供電中，由於局部的電量電流集中在某一部份，致使此部份發生逆電量現象，而在脈衝供電下，其電量電流的分佈相當均一，全體的電量電流頗大，所以不會發生逆電量現象。

而且，在傳統供電方面，為降低電量電流，使得外加電壓不得不跟著降低。在脈衝供電，（4.1將詳細說明），藉由脈衝頻度的調整，不必降低外加電壓，便可使電量電流在較廣範圍下調整，為此以應付塵埃的各種電阻值，使不致發生逆電量現象，這樣便可以在最大的電量電流下運轉。

3.3 減少捕集塵埃的再飛散

在傳統供電中，在集塵極表面上，電量電流大都不流動，但有小部份則可，故氣體當中，已帶電的塵埃粒子為此部份所捕集，當塵埃粒子的電荷消失時，將朝向氣體再飛

散。

而脈衝供電，其電量電流係均一的分佈，不致發生已捕集的塵埃粒子因其電荷的消失而再飛散到氣體的現象。

四、脈衝供電的特徵

脈衝供電除了如前述的有均一的電量放電之特徵外，尚有如下的特徵。

4.1 電量電流的設定範圍廣泛

圖 8 所示為在實驗級EP所調查的電量電流特性之結果。

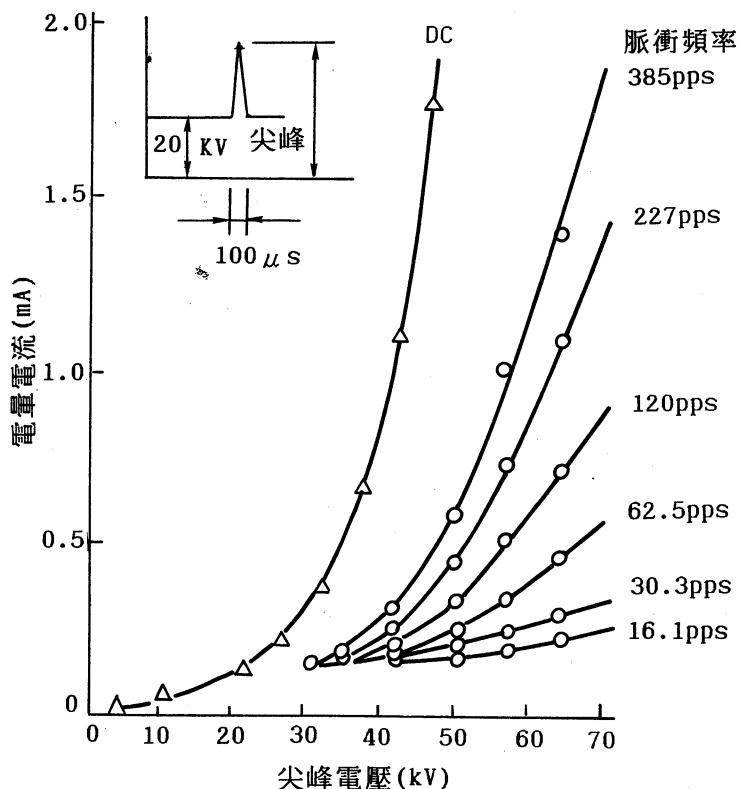


圖 8 電量電流特性

縱軸為電量電流，橫軸為脈衝的尖峰電壓（基部電壓和脈衝電成份電壓之合計），在脈衝寬為 $100 \mu\text{s}$ 時，以脈衝頻率（每一秒的脈衝產生次數）為參數，以顯示其尖峰電壓和電量電流之特性。

在實驗級EP，基部電壓為20KV，近似於電量開始電壓，在圖8中，記有DC的曲線係為直流供電的特性。

在脈衝供電，儘管是在同一尖峰電壓下，亦可藉由變化脈衝頻度，使可以在電量電流有廣範圍的選擇性，如此在應付塵埃特性的變化有其優越的配合性。

4.2 提高火花發生電壓

在EP內，火花的發生係受下述幾點所影響，如每單位氣體的塵埃量，塵埃的電阻值，EP內部風速，塵粒粒徑等，此係眾所周知的。在脈衝供電中，適切的選擇脈衝頻度，可得到比傳統供電達1.2~1.5倍的尖峰電壓，這樣便可以提高火花發生電壓。

這裡，集塵空間並未充滿負離子，是以沒有“歪曲”電場的分佈，被認為電位斜率急劇變化的部份是不致發生的。

五、脈衝供電性能測試結果

從使用實驗級EP和同EP用脈衝供電系統的性能測試，以及現場實機規模的脈衝供電系統用於既設實機EP所實施的性能測試，可以確認到集塵性能的改善及能省電力。

5.1 實驗級EP的測試結果

此實驗級EP係常設於研究所內的固定式EP，及可利用卡車等搬運而於現地組立型的可搬式EP等2種，本測試便在此兩種機型上實施。

5.1.1 固定式EP的測試

在固定式的實驗級EP上，設置有微粉煤試驗燃燒爐的排氣管線，可以進行各種煤炭的燃燒排氣集塵性能測試，而且，在此爐中，於燃燒輕油（煤油）的排氣內，注入各種塵埃而成含塵排氣，其亦可以進行性能測試。

圖9為其設備之流程，在EP的出入口均設置有含塵量測定器，為了容易進行性能評估，工廠所捕集的塵埃，測試可能條件之場合，係為圖謀測試的效率化，在設備使用相當多。

使用此設備，以求得傳統供電和脈衝供電的集塵移動速度 ω ， ω 係從Deutsch式來求得其值。

$$C_0/C_1 = \exp(-\omega \cdot SCA)$$

其中， C_0 ：EP出口含塵量

C_1 ：EP入口含塵量

ω ：集塵移動速度

SCA：比集塵面積 = A/Q

A ：集塵面積

Q ：處理排氣量

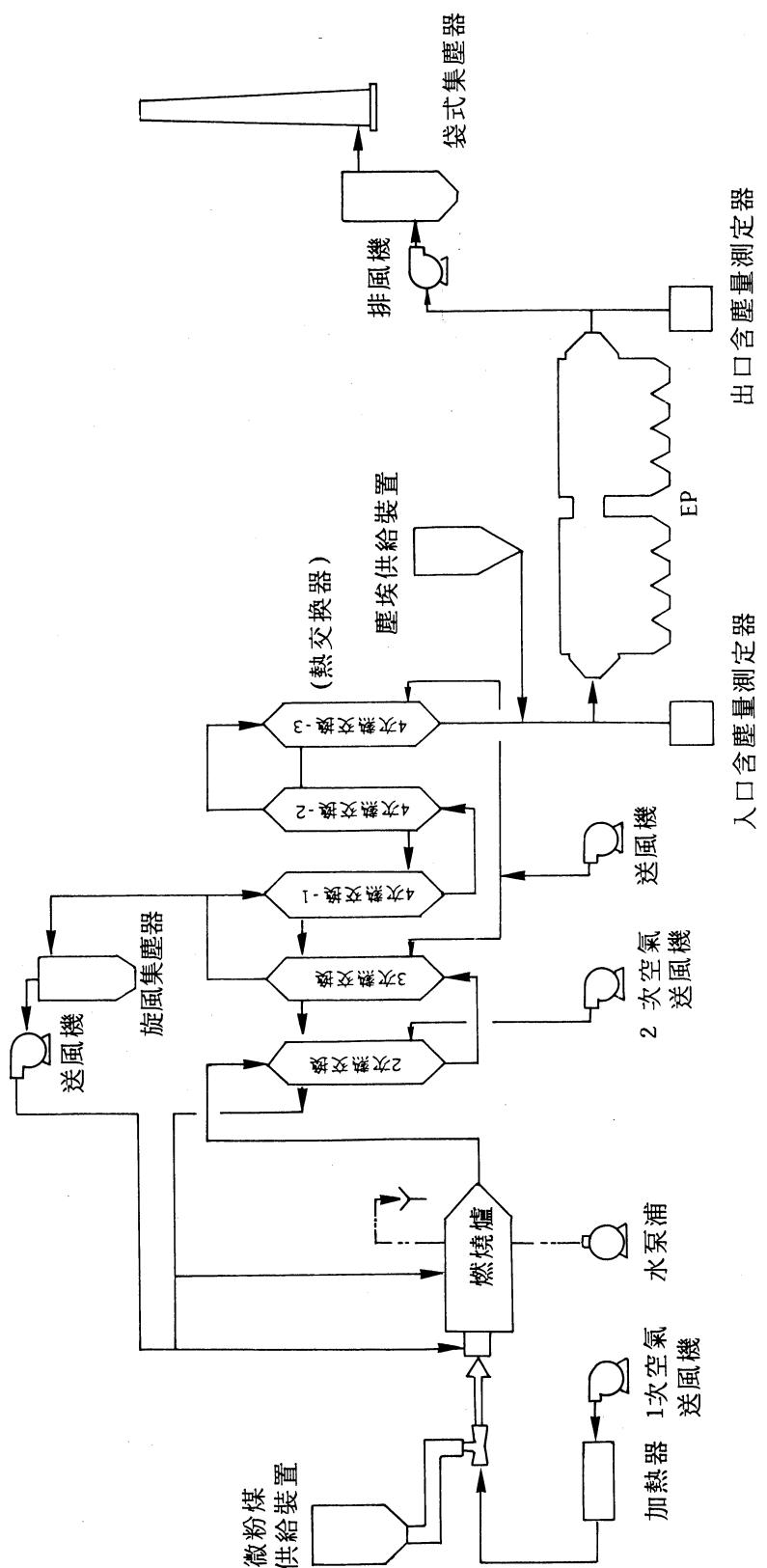


圖 9 微粉煤試驗燃燒爐及EP

在輕油燃燒排氣中，將飛灰注入其排氣，其測試結果如表 1 所示。煤質的飛灰之電阻值常因產地、產國、牌子而有所變化，這裡就 3種煤炭進行測試。

將日本煤炭飛灰於傳統供電的集塵場合下，其集塵移動速度訂為 100%，其他的飛灰及脈衝供電時的集塵移動速度以比率方式表現之。

表 1 飛灰測試結果

炭種	排氣溫度 (°C)	排氣水分 (Vol%)	電阻值 (Ω. cm)	EP內部流速 (m/s)	集塵移動速度	
					傳統供電	脈衝供電
國內炭	140	8	2.0×10^{11}	0.74	100	110
海外炭 A	140	8	2.3×10^{12}	0.74	52	81
海外炭 B	140	8	2.8×10^{13}	0.76	34	73

藉由脈衝供電者，不論何者都將提昇集塵移動速度而改善集塵性能，這裡是可以清楚看到的。而且，相對於電阻值的變化，集塵移動速度的變化量也是以脈衝供電方面為較小，由此可以獲得安定的高性能。

其次，在輕油燃燒排氣中，將水泥窯灰注入其排氣，其測試結果如表 2 所示。水泥窯灰的排氣溫度係隨著工廠操作狀態而變化；排氣溫度變化，則塵埃的電阻值亦受到影響。本測試以 3種不同溫度條件來進行。

表 2 水泥窯塵埃測試結果

排氣溫度 (°C)	排氣水分 (Vol%)	電阻值 (Ω. cm)	EP內部流速 (m/s)	集塵移動速度	
				傳統供電	脈衝供電
140	8	2×10^{11}	0.8	100	134
200	9	1×10^{12}	1.1	59	116
320	8.5	4×10^{11}	1.3	66	125

在一般的操作，利用窯排氣的廢熱來乾燥原料，通常將通過乾燥機的東西導入 EP，假想乾燥機運轉時的排氣溫度為 140°C，而在這溫度下，利用傳統供電的集塵場合，其

集塵移動速度為100%，其他溫度下及脈衝供電時的集塵移動速度以比率表示之。

和飛灰的測試結果相同，全都顯示脈衝供電的集塵移動速度上昇，且性能有所改善之事實，而且，對於排氣溫度的變化，集塵移動速度的變化率也以脈衝供電者為最小，由此得到安定的高性能。

5.1.2 可搬式EP的測試

可搬式的實驗級EP係利用在排氣條件產生變化，而研究所的固定式EP流程不能再現之場合，或者在實際工廠之排氣處理，為使用EP以外的系統，而假設脈衝供電系統在既設EP不進行測試的場合。

圖10為設備的流程圖，因在EP的出口煙道上，設置有透光式連續粉塵計，由此很容易的做出不同供電方式的出口含塵量相對比較。而評估EP之性能時，EP須按 JIS-Z8808來進行出入口之測試與排氣分析，所以有測試期間延長的傾向。

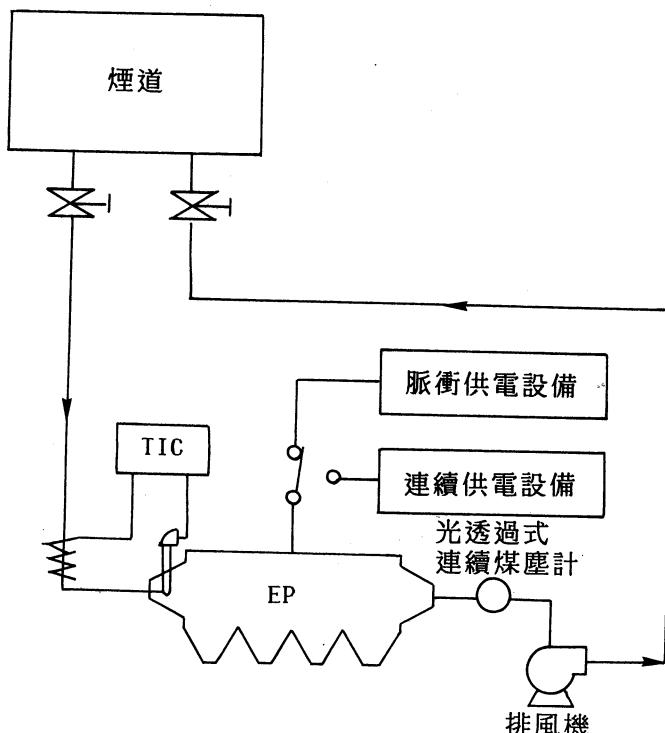


圖10 可搬式EP之測試

以此設備使對流動層鍋爐排氣的測試結果如表3所示。

從鍋爐點火至穩定操作之間，進行各種狀態的測試。在鍋爐穩定操作下，以傳統供電的集塵場合及集塵移動速度定為100%，其他溫度下及脈衝供電時的集塵移動速度以比率表示之。

表 3 流動層鍋爐排氣測試結果

鍋 爐 操作狀態	排氣溫度 (°C)	排氣水分 (Vol%)	電 阻 值 (Ω · cm)	EP內部流速 (m/s)	集塵移動速度	
					傳統供電	脈衝供電
剛點火之後	138	8	8×10^{12}	0.88	56	108
點火→併入	144	8	—	0.89	83	114
穩 定	131	8	2.8×10^{12}	0.81	100	125

從鍋爐點火至穩定操作之間，在所有狀態，都以脈衝供電的集塵移動速度有上昇及性能改善之事實，而且，在傳統供電下從鍋爐點火至穩定操作之間的集塵移動速度之變化率較大，而脈衝供電者變化率較小，藉此得到安定的高性能。

5.2 在既設EP的測試結果

表 4 為在既設EP上，設置一實機規模的脈衝供電系統，其所測試之結果。

在脈衝供電系統的控制上，希望將基部電壓，脈衝成分電壓，脈衝頻率等 3個要素合併在一台控制器上做控制，其中只有一實驗例子是使用既設的簡易供電系統外加至EP的基部電壓。

表 4 既設EP脈衝供電現場測試結果

用 途	排氣溫度 (°C)	脈衝供電下 含塵減少率(%)	脈衝供電設置場 所如圖示之
A社 燃煤鍋爐 EP	120	77	→ [P] [] []
B社 水泥加工廠 EP	95	30	→ [P] [] []
C社 水泥加工廠 EP	84	43	→ [P] []
D社 Ni乾燥機 EP	145	46	→ [P] []
E社 水泥冷卻 EP	120	38	→ [P] [] []
F社 燒結防塵 EP	80	40	→ [P] [] []
G社 燒結主排 EP	110	30	→ [P] [] []

不論何者的測試，脈衝供電方式都能使EP出口的含塵量大幅的減少。

5.3 用電量

表5及表6為供電系統的1次電源側所設置之電錶（瓦時計），測得傳統供電及脈衝供電的用電量結果。

表5係水泥窯用的5室EP中的第2室，設置一脈衝供電系統之用電計量結果。表6則是燃煤鍋爐用之5室EP中的第3室，設置一脈衝供電系統之用電計量結果。在脈衝供電，不論那種場合，用電計量均將脈衝電源裝置和基部電源裝置合併一塊計量。

脈衝供電比起傳統供電的集塵性能能獲得更好的改善是意料得到的，而且其電力消耗量僅為後者的40~70%左右，可以確認的是電力方面能有大幅的節省。

表5 水泥窯用EP之測試結果

排氣溫度 (°C)	排氣水分 (Vol%)	電阻值 (Ω. cm)	第2室供電方式	入口含塵量 (g/m³ N)	出口含塵量 (mg/m³ N)	第2室消耗電力量 (kWh)
110	9.5	8.0×10^{10}	傳統供電	25.0	7.8	15.8
			脈衝供電	26.6	4.4	6.6
161	13.6	4.5×10^{10}	傳統供電	44.4	20.5	10.1
			脈衝供電	44.8	8.8	6.1

表6 微粉煤鍋爐用EP之測試結果

炭種	排氣溫度 (°C)	電阻值 (Ω. cm)	第3室供電方式	入口含塵量 (g/m³ N)	出口含塵量 (mg/m³ N)	第3室消費電力量 (kWh)
混炭A	120	9.4×10^{11}	傳統供電	13.3	30	8.5
			脈衝供電	13.3	7	6.2
混炭B	123	1.5×10^{12}	傳統供電	16.2	80	6.2
			脈衝供電	16.2	64	3.7
混炭C	124	2.5×10^{12}	傳統供電	20.5	147	4.5
			脈衝供電	20.5	101	3.2

六、既設EP的適應

利用L-C振動之2電源方式的脈衝供電系統係藉脈衝電壓使塵埃有帶電效果，以及藉基部電壓使在同一集塵室有電場效果，如此就不必改造既設EP在本體內部，惟有脈衝供電系統的設置，才有可能提昇集塵性能。

而且，脈衝成分電壓，脈衝頻率及基部壓獨立控制，除了可放電極和集塵極保持較寬的距離外，尚不受放電極的形狀及排列之影響，因此，任何EP的製造廠商其均能適應。表4為既設EP及數家製造廠商資料。

將既設EP脈衝供電化的具體方法說明如下，工廠需安排2~3日左右的短期性停工，以安裝脈衝電源裝置安置用的基礎，並和既設電源箱（此係做為基部電源裝置用）特別高電壓之連接部做接續工程外，其他工事可以在工廠運轉中進行施工。

而且，在特別高電壓部的接續安裝工事完成後，其他的接續工程只要1天左右的停車便可竣工，所以不需長期的停車，便可以完成脈衝供電化的改造，當再次運轉後，則可改善集塵性能。

七、結語

筆者們所用開發的商品之L-C振動脈衝成分電壓，重疊於基部電壓，而外加至EP成脈衝供電系統，經過長時期的實驗測試後，已確認機器對集塵性能改善的信賴性及安定性，其對能源的節省亦同時得到確認。

又，既設水泥窯用EP集塵性能改善對策，將脈衝供電系統納入1號機也經過了3年，其間發揮了改善性能的安定性，及省電力效果。

脈衝供電不僅可改善既設EP的集塵性能，也使新設者小型化而降低成本，更能實現省空間的美夢，當然，特別對電阻高的塵埃，其效果更具宏大。EP的用途廣泛，被認為能更進一步對環境保護有所貢獻。

本文譯自與川慎太郎，龜島忠，田中修，靜電氣學會誌，459~466, 14, 6, 1990.