

新荷電方式集じん技術について

Dust Collecting Technology with New Energization System

技術本部 片山 博 幸*¹

神戸造船所 杉浦 坂 男*² 土屋 喜 重*³

玉井 正 俊*⁴

電気集じん装置 (EP) は、大容量の排ガスを経済的に、しかも高効率で処理できることから、環境保全装置として幅広い分野で利用されている。しかしながら、電気的作用により排ガスを集じんするため、その集じん性能は排ガス中のダストの電気抵抗率に影響され、特に電気抵抗率が高い場合、逆電離という異常放電が発生し集じん性能が大幅に低下することが知られている。当社では、この高電気抵抗率ダスト対策が EP の最重要課題との観点からいち早く技術開発を進め、“間欠荷電方式”さらに引続き“パルス荷電方式”と呼ばれる荷電制御技術を開発・実用化した。本報では、EP 性能向上のみならず省エネも図れるパルス荷電を中心とした最新の荷電制御技術について紹介する。

Electrostatic Precipitators (ESP) are widely used in various fields because they can efficiently and economically treat a large volume of exhaust gas. The collecting efficiency, however, greatly depends on the electrical resistivity of the dust to be collected. It is well known that dust with a high resistivity causes an abnormal phenomenon called “back corona” which reduces the collecting efficiency. Intermittent energization, one of the most economical measures for suppressing back corona, was developed by Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. in 1979, and has been applied for many commercial plants not only in Japan but also all over the world. For higher resistivity dust, pulse energization that supplies a high peak voltage is more effective for improving the efficiency of ESP. This paper introduces the latest ESP energization system which provides a high collecting efficiency and energy saving.

1. はじめに

電気集じん装置 (以下 EP) は、排ガス中のダストをコロナ放電によって帯電させ静電気力によって集じん極上へ移動・捕集するもので、大容量の排ガスを経済的に、しかも高効率で処理することができることから、ボイラ用や各種産業用などの環境保全装置として幅広い分野で利用されている。しかしながら、電気的作用により集じんするため、その集じん性が対象となるダストの電気抵抗率に影響され、特に電気抵抗率が高い場合には逆電離 (バックコロナ) という異常放電が発生し集じん性能が大幅に低下することが知られている。

この高電気抵抗率ダスト対策としては、逆電離発生メカニズムに応じて、図 1 に示すような各種対策が考案・実用化されている。当社では、これら高電気抵抗率ダスト対策が EP の最重要課題との観点からいち早く技術開発を進めてきた。特に荷電制御により逆電離を抑制する基礎研究を 1970 年代から開始し、実機プラントでの検証を経て“間欠荷電方式”と呼ばれる荷電制御技術を 1979 年に世界で初めて実用化した。さらに引き続き、“パ

ルス荷電方式”と呼ばれる荷電制御技術を開発し、1985 年に実用化している。これら荷電方式は、EP 性能向上のみならず省エネも達成できることから、EP 分野での最近の主要研究開発テーマの一つとなっている。以下にパルス荷電を中心とした最新の荷電制御技術について紹介する。

2. 新荷電方式の特徴

パルス荷電方式には、従来の直流荷電方式に比べて、次のような特徴がある。

2.1 逆電離の抑制

図 1 に逆電離現象の始発条件を示したが、ダストの電気抵抗率が高い場合ダスト層での電界強度が大きくなり、絶縁破壊強度以上になるとダスト層内で絶縁破壊を生じ、その結果逆電離現象が発生する。この場合、EP 荷電電圧が低下し集じん空間に十分な電界が形成されないのみならず、ガス空間に放出された逆極性イオンが帯電したダストを中和させるためダストの帯電量そのものも低下し、EP の集じん性能は大幅に低下する。パルス荷電方式は、ダスト層が抵抗体だけでなく誘電体でもあることに着目し、EP への印加電流を周期的に遮断することにより、ダスト層の電位上昇を抑制しつつ EP に高い電圧を印加し、その結果高電気抵抗率ダストに対する捕集性を向上させることができる。

2.2 電流密度分布均一化

パルス荷電方式では極めて短い時間に高い電圧が印加できるため、放電極の汚れ等の影響を受けず一様なコロナ放電を発生できる。また、放電極側から断続的に放出される負イオンは極めて濃密で、そのクローン斥力による相互反発で一様に分散するため集じん極上の電流密度は均一となる。

2.3 省エネ効果

逆電離が抑制されることから、電源装置から供給されるエネル

逆電離の始発条件	高電気抵抗率ダスト対策	
	(1) ダスト層をなくす	ダストの完全除去 湿式 EP
$E_d = \rho_d \times i_d > E_{db}$	(2) 電気抵抗率の低減	温度を上げる 高温 EP 温度を下げる 低低温 EP (GGH 前置) 調質剤注入 水、SO ₃ 、NH ₃ ほか注入 混炭、混焼 高 S 炭・重油との混焼
	(3) ダスト層を流れる電流の制御	荷電制御 間欠荷電 パルス荷電

E_d : ダスト層の電界強度 i_d : ダスト層を流れる電流密度

ρ_d : ダスト層の電気抵抗率 E_{db} : ダスト層の絶縁破壊強度

図 1 高電気抵抗率ダスト対策 高電気抵抗率ダストの逆電離現象の始発条件及び逆電離を防止し集じん性能を改善する方法を示す。
Countermeasures for high resistivity dust

*1 高砂研究所流体研究室

*3 機械・環境装置部集塵装置設計課主務

*2 情報・電子機械部装置制御設計課主務

*4 機械・環境装置部集塵装置設計課

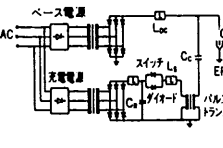
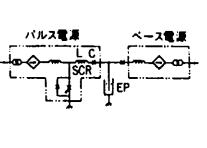
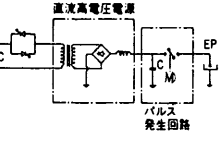
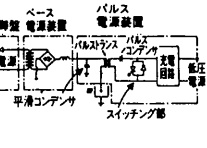
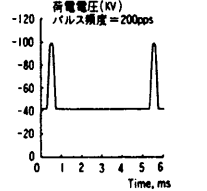
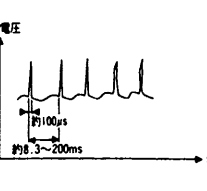
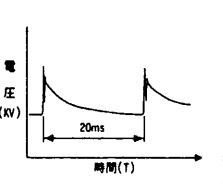
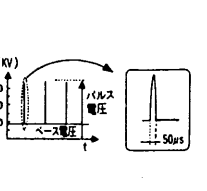
パルス荷電方式		パルス荷電 (マイクロセカンドパルス)			
項目		A方式	B方式	当社タイプI	当社タイプII
パルス幅		50~200 μ s	100 μ s	2~6 μ s	2~数百 μ s
パルス頻度 (P.P.S: Pulse Per Second)		25~400 pps	max 400pps (推定)	10~60 pps	0.4~60 pps
直流 ベース 電源	要 否	要	要	不 要	要
	パルス 電圧への 影 響	な し	あ り	な し	な し
回路構成					
波形例					

図2 実用化されたパルス荷電方式の比較 実用化されている各種パルス荷電方式の特徴、回路図、波形等の比較図。
Comparison of actual pulse energization system

ギーは無駄なく EP で消費できる。このため、EP で消費される電流は、コロナ放電開始レベルのごくわずかな電流とパルス印加時の微小電流の和となり、直流荷電方式に比べ消費電力は約 10~20 % に低減できる。

3. 新荷電方式の種類と現状

3. 1. 間欠荷電 (ミリセカンドパルス)

当社が開発した“間欠荷電”は、高压トランス一次側に設置されたサイリスタの点弧角を周期的に一定時間絞ることにより、ミリセカンドレベルでのパルス状の電圧を EP に印加させる方式であり、従来の荷電制御回路に間欠荷電の制御回路を付加するだけで済むため装置価格が低廉であるというメリットがある。

3. 2 パルス荷電 (マイクロセカンドパルス)

“パルス荷電”は、従来の荷電装置とパルス状の高電圧を発生する回路とを組合せることにより行われる。現在実用化されている代表的なパルス荷電方式を図2に示す。

3. 2. 1 A 方式

直流高電圧重畳形パルス荷電方式として最も早く実用化されたものであるが、電源構成が複雑となるため設備費が高くなる。

3. 2. 2 B 方式

A 方式に比べコンデンサの数は少ないが、二つの独立した電源装置を有するという点では同一方式と見なすことができる。この方式では比較的シャープなシングルパルスを供給できるため、A 方式よりは優れていると考えられる。しかしながら、パルスコンデンサの充電電圧が EP 本体の荷電状態の影響を受けるため、二つの独立した電源装置を使用しているもののパルス電圧自体の制御が困難で、EP 性能向上及び省エネ面で改善の余地があると考えられる。

3. 2. 3 当社タイプ I 方式

直流高電圧電源装置と EP の間にパルス形成コンデンサと高電圧スイッチング装置を設けただけのシンプルな構成となっている。

この方式では、直流高電圧電源装置によりパルス形成コンデンサを充電しコンデンサが十分高い電圧に達した時点でスイッチングを行うことによって、負荷である EP の静電容量分との間に LC 共振を発生させ急しゅんなパルス電圧を EP の残留電圧に重畳させて供給することが可能である。電圧波形は、スイッチング時の数十 μ s の間は EP とコンデンサの間で共振する振動波形となっており、またスイッチングが切れている間は EP に蓄えられた残留電荷がコロナ放電により有効に消費されるため、間欠荷電と同様な減衰波形となっている。なお、スイッチング装置として機械式の回転火花ギャップを採用しているため、数マイクロ秒の立ち上がり時間を持った良好なパルス電圧の供給が可能である。

3. 2. 4 当社タイプ II 方式

この方式は直流高電圧重畳型パルス荷電方式として実用化された前述の A, B 各方式の問題点を解決し、さらに当社タイプ I 方式により近い急しゅんなパルス電圧を発生させるために開発された方式であり、現在電源装置の試作を完了し、実用化に向けて試験を実施中である。詳細については 5 章に記述する。

4. 新荷電方式の実績

4. 1 採用実績

パルス荷電方式は、当社タイプ I のような比較的安価なパルス発生装置の実用化に伴い最近ではその実績が急速に増えつつあり、石炭だきボイラ・製鉄所焼結機・セメント工業などの高電気抵抗率ダスト処理用 EP に適用されている。当社では、1985 年に自家発石炭だきボイラ用に初号機を納入して以来、20 プラント (うち事業用火力向けとして 5 プラント) にパルス荷電方式の採用実績があり、すでに稼働中のものはいずれも順調な運転を継続中である。

4. 2 実機性能実績

表1にパルス荷電方式 (当社タイプ I) による石炭だきボイラ用 EP の性能改善効果の一例を示す。これら実績によれば、

表1 パルス荷電の実機性能実績 (石炭だきボイラ用低温 EP)
ESP performance test result with pulse energization (ESP for coal-fired boiler)

プラント	処理ガス量 ($\text{m}^3\text{N/h}$)	石炭 (ダスト)電気 抵抗率 ($\Omega\cdot\text{cm}$)	荷電モード (荷電状態)			出口ダスト 濃度 ($\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$)	性能 改善率 (ダスト 移動 速度比)	消費 電力 (kW)
			1S	2S	3S			
A	140 000	豪州 A 炭 (4×10^{12})	連続 (逆電離)	連続 (逆電離)	連続 (逆電離)	32	1.0	54
			間欠	パルス	パルス	6	1.6	9
B	280 000	豪州 B 炭 (1.0×10^{12})	連続 (正常)	連続 (正常)	連続 (正常)	25	1.0	49
			パルス	連続	連続	21	1.1	38
			パルス	パルス	パルス	26	1.0	17
		豪州 C 炭 (3×10^{12})	連続 (軽い 逆電離)	連続 (軽い 逆電離)	連続 (軽い 逆電離)	149	1.0	52
			パルス	連続	連続	104	1.2	39
			パルス	パルス	連続	90	1.2	28
C	15 000	豪州 D 炭 (8×10^{12})	パルス	パルス	パルス	73	1.3	14
			連続 (火花 頻発)	連続 (火花 頻発)	連続 (軽い 逆電離)	112	1.0	2.7
			パルス	連続	連続	76	1.2	2.5
			パルス	パルス	連続	60	1.3	2.3
			パルス	パルス	パルス	50	1.4	1.4
		豪州 E 炭 (2×10^{13})	連続 (火花 頻発)	連続 (火花 頻発)	連続 (軽い 逆電離)	49	1.0	4.0
			パルス	連続	連続	38	1.1	3.0
			パルス	パルス	連続	30	1.2	2.0
			パルス	パルス	パルス	25	1.3	1.3
		豪州 F 炭 (5×10^{13})	連続 (逆電離)	連続 (逆電離)	連続 (逆電離)	1 000	1.0	3.5
			パルス	間欠	間欠	338	2.1	0.6
D	1 250 000	豪州 G 炭 (2×10^{13})	連続 (軽い 逆電離)	連続 (軽い 逆電離)	連続 (軽い 逆電離)	100	1.0	986
			パルス	間欠	間欠	69	1.2	175

- (1) ダストの電気抵抗率が高い場合は、性能改善率は大きく約2倍が達成できている。これは、同一性能を達成するのに EP 容量が半減できるということを意味する。一方、比較的電気抵抗率が低い場合は、パルス荷電の適用により省エネは見られるものの、集じん性能 (出口ダスト濃度) の改善はほとんど見られない。
- (2) パルス荷電適用セクションを増やすにつれて性能改善率は高くなる傾向にあるが、改善割合は第1セクション採用時が最も大きい。
- (3) パルス荷電、間欠荷電の適用により大幅な消費電力の低減が見られる (連続荷電時に比し 80% 以上低減の例もある)。

5. 当社最新型パルス荷電方式 (タイプII) の概要

5.1 パルス電源装置の構成

最新型パルス電源装置は、主に電源変換装置とパルス成形装置から構成されており、各々の機能は以下になっている。

- (1) 電源変換装置では、3相低圧商用電源を効率よく高電圧に昇圧し、これをパルス成形装置に供給する。
- (2) パルス成形装置では、電源変換装置からの電圧をパルスコンデンサに充電し、この電荷をスイッチング装置により瞬時に放電させパルス状の高電圧をつくり、特殊なパルストランスを介してベース電圧に重畳させる。

5.2 特徴

最新型パルス電源装置の特徴を以下に述べる。

- (1) 平滑コンデンサの採用により、ベース電圧を完全にフラット

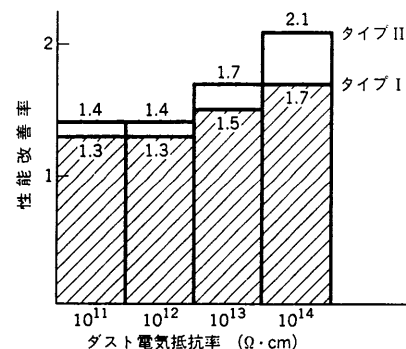


図3 パルス荷電タイプ I, II の性能改善効果 (ラボパイロット EP 試験結果)
当社の2タイプのパルス荷電方式について、研究所のパイロット EP で集じん性能改善効果と比較試験した結果を示す。
ESP performance improvement of pulse energization Type I & II (Test result of pilot ESP in laboratory)

にし、非パルス時間中の異常放電 (火花放電、逆電離等) を抑制している。

- (2) パルストランスを介して、EP にパルス電圧を印加するため、パルス電圧とベース電圧をおのおの、完全に独立して抑制できる。
- (3) スwitchング部に GTO 型サイリスタを使用しているため、数マイクロ秒から数百マイクロ秒まで広範囲にわたるパルス幅の調整や、パルス頻度の調整が容易にできる。
- (4) パルス荷電の運転は、オペレータにてパルス頻度の設定を行うだけで開始され、パルス幅・ピーク電圧等は自動的に設定される。
- (5) EP に与えられたパルスエネルギーの一部は、パルスコンデンサに回収されるため大幅な省エネ運転ができる。

5.3 集じん性能改善効果

図3に、最新型パルス荷電方式 (当社タイプII) のラボパイロット EP での集じん性能改善効果の確認結果を示す。

従来のタイプ I に比べて、タイプ II はいずれの電気抵抗率においてもパルス条件 (パルス頻度、ベース電圧等) を最適化できるため、タイプ I を上回る改善効果が得られることが分かった。今後さらに実機フィールドテストで性能改善効果を確認する予定である。

6. おわりに

近年の急速な半導体技術の進歩により、高機能で経済的な EP 荷電制御装置の実現が可能となっている。環境問題への関心がますます高まる中、排煙処理システムの主要機器の一つとして電気集じん装置の役割は、今後とも極めて重要と考えられる。今後も、より高性能で、経済性・信頼性の高い集じん技術の開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 藤島英勝ほか、新荷電方式の電気集塵装置、静電気学会誌 14.6 (1990) p.443~450
- (2) 柳生隆志ほか、集じん技術の現状と開発動向、三菱重工技報 Vol.27 No.4 (1990) p.297
- (3) 土屋喜重ほか、省エネ高性能集塵技術—新荷電方式 EP—、動力 No.220 (1994) p.37~46