

— Instrument Performance test —

タンデムDMAを用いたAm241中和器の帯電性能評価試験



東京ダイレック株式会社
〒160-0015 東京都新宿区内藤町1内藤町ビルディング
TEL 03(3355)3632 (代)
FAX 03(3353)6895
企画開発部 濱 尚矢
研究開発部 船戸 浩二、中村 馨、岩佐 高宏、藤野 聡
E-mail info@tokyo-dylec.co.jp
URL https://www.t-dylec.net/

概要: エアロゾル粒子を計測する上で対象粒子の帯電状態を把握することは重要で、測定の目的によっては前処理装置等で帯電状態を調整する場合がある。特に発生装置等で生成されたエアロゾル粒子は多価に帯電している場合があり、これらを中和または平衡帯電状態にする目的で前段にエアロゾル中和器を使って中和することがある。また粒径分布計測装置のリファレンスとして使用されるSMPSは測定対象のエアロゾル粒子が平衡帯電状態であることが原理上必須であることから、一般的に機器の前段にエアロゾル中和器が用いられる。

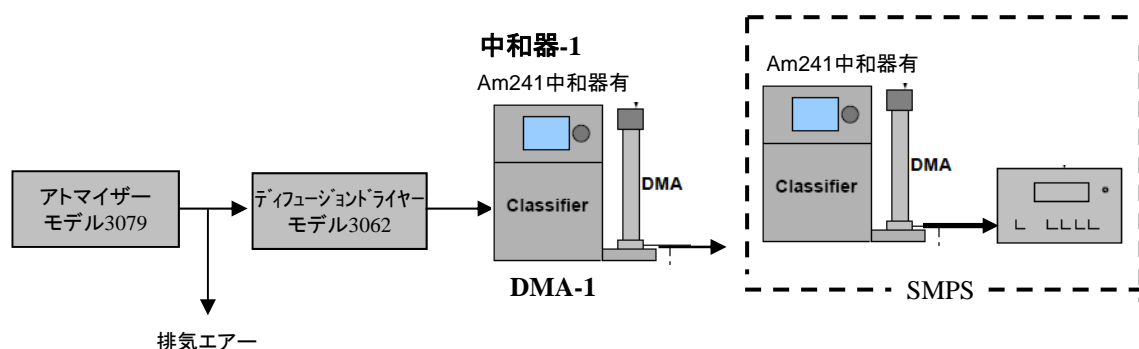
エアロゾル中和器には放射線源を内蔵したものやコロナ放電式と様々のモデルが存在しており、何れのモデルも高濃度イオンを放出することでエアロゾル粒子を安定した平衡帯電状態に調整している。放射線源を内蔵したエアロゾル中和器には主にAm241(アメリシウム)、Kr85(クリプトン)及びPo210(ポロニウム)などがあり、国により放射線源の規制に違いがあることから幾つかのモデルが存在している。日本では放射線源の規制が厳しいことから放射能の低いAm241(公称値3.0MBq)が使われることが多い。

前述したとおりSMPSはエアロゾル中和器を用いることが必須であり、正確な粒径分布や個数濃度を計測する上でエアロゾル中和器の性能が重要であると考えられる。エアロゾル中和器の理想的な分布としてWiedensohlerの導いた平衡帯電分布(1988)があり、使用対象のエアロゾル中和器で生成される帯電分布がこの理想帯電分布と同等であることが望ましい。

当社ではSMPS用のエアロゾル中和器としてAm241中和器(表示付認証機器、認証番号㊦038を製造・販売しており、今回当社のAm241中和器の帯電性能を評価するためタンデムDMAやCPCを用意し、理想的な帯電分布との比較を行った。

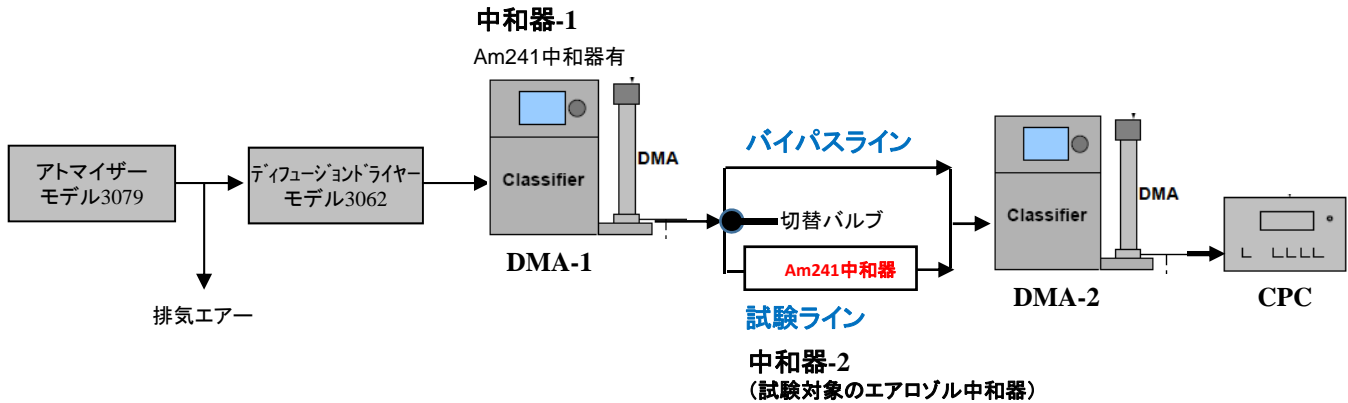
試験日時: 2018年5月

試験手順①: Am241中和器の帯電性能を評価する上で試験粒子として粒径の均一なPSL標準粒子を選択した。下記のフロー図が示すようにアトマイザーでPSL標準粒子を発生し、ディフュージョンドライヤーで水分を乾燥後にDMA-1で分級し、単分散度の高い+1価のPSL標準粒子を対象粒子とした。対象粒子であるPSL標準粒子の粒径分布を確認するためSMPSで測定した。(PSLのサイズは47、100、294nmの3種類)



試験手順②: 試験手順①と同様にDMA-1で単分散化した+1価のPSL標準粒子をAm241中和器の無い**バイパスライン**を経由させる。その後DMA-2で再度分級し、CPCで個数濃度を計測した。この時の個数濃度を対象粒子のトータル個数濃度とする。

試験手順③: 試験手順①と同様にDMA-1で単分散化した+1価のPSL標準粒子を**試験ライン**に流し、Am241中和器で強制的に平衡帯電させる。その後DMA-2で任意の電圧設定で分級し、+1、+2、+3価粒子の個数濃度をそれぞれCPCで計測した。



<計測手順②の設定条件>

DMA-1の設定条件			
分級径 (nm)	47	100	294
印加電圧 (V)	-620	-2450	-8133.5
サンプル流量 (ℓ/min)	1.5		
シース流量 (ℓ/min)	15	9.0	
中和器-2の有無: 無(バイパスライン)			
DMA-2の設定条件			
分級径 (nm)	47	100	294
印加電圧 (V)	-620	-2450	-8133.5
サンプル流量 (ℓ/min)	1.5		
シース流量 (ℓ/min)	15	9.0	
CPCの測定条件: 1分間×3回			

<計測手順③の設定条件>

DMA-1の設定条件									
分級径 (nm)	47			100			294		
印加電圧 (V)	-620			-2450			-8134		
サンプル流量 (ℓ/min)	1.5								
シース流量 (ℓ/min)	15						9.0		
中和器-2の有無: 有(試験ライン)									
DMA-2の設定条件									
分級径 (nm)	26.5	33	47	54.6	68	100	143	184	294
印加電圧 (V)	-207	-310	-620	-817	-1225	-2450	-2711	-4067	-8134
	+3価相当	+2価相当	+1価相当	+3価相当	+2価相当	+1価相当	+3価相当	+2価相当	+1価相当
サンプル流量 (ℓ/min)	1.5								
シース流量 (ℓ/min)	15						9.0		
CPCの測定条件: 1分間×3回									

試験機器:

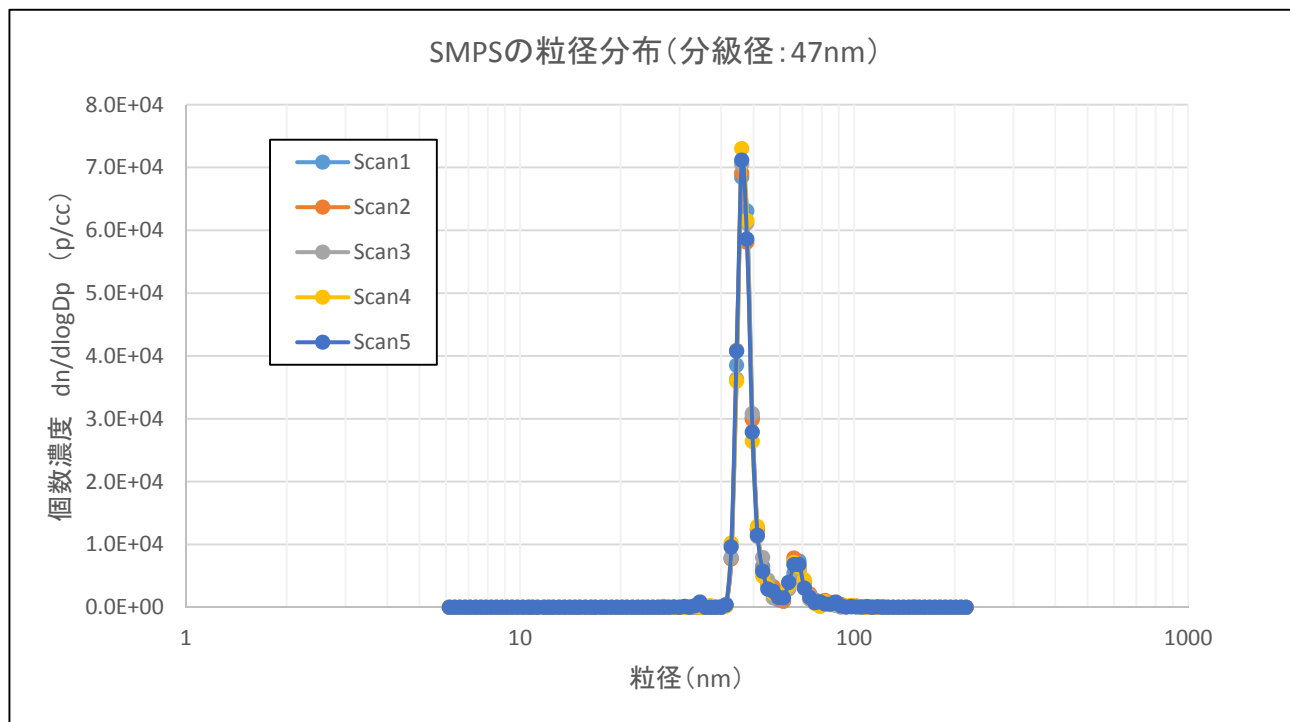
- ①発生器: TSI社 エアロゾルアロマイザー (モデル3079)
 - ・粒子材料 : PSL 47、100、294nm JSR社製
 - ・溶液濃度 : PSL 10滴 / 蒸留水 40cc
 - ・エア圧力 : 0.1MPa
 - ②ドライヤー: TSI社 ディフュージョンドライヤー (モデル3062)
 - ③分級器: TSI社 静電分級装置 (モデル3080)
 - ・印加電極 : マイナス
 - ・DMAモデル : 3081
 - ・サンプル流量 : 1.5 ℓ/min
 - ・シース流量 : 15 ℓ/min (9.0 ℓ/min)
 - ④中和器: 東京ダイレック社 Am241中和器 (表示付認証機器、認証番号㊦ 038)
 - ⑤計測器: TSI社 SMPS (モデル3938L75)
 - ・サンプル流量 : 1.5 ℓ/min
 - ・シース流量 : 15.0 ℓ/min (9.0 ℓ/min)
 - ・粒径範囲 : 6.15~216.7nm (10.6~385.4nm)
 - ・スキャン時間 : 180秒
- TSI社 CPC (モデル3775)
- ・サンプル流量 : 1.5 ℓ/min

- 考 察： ・計測手順①の結果(P5～6)より、アトマイザー+ディフュージョンドライヤーで発生したPSL標準粒子の粒径分布は良く安定していた。
- ・本試験で選択したPSL標準粒子は元々粒径の均一な粒子であり、DMAで分級したことでより単分散度の高い粒径分布であることが確認された。これにより使用する試験粒子は他粒径で多価帯電した粒子の混入が極めて低いと考えられる。
 - ・294nmのPSL標準粒子を分級する際、SMPS(又はDMA)の可測粒径範囲を広くするためサンプル流量とシース流量の比を1:6とした(47nm及び100nmのPSL標準粒子では両比率を1:10とした)。このため294nmのPSL標準粒子は他粒径と比べて単分散度が低い分布となった。
 - ・計測手順②の結果(P6～7)より、**バイパスライン**を経由した各粒径でのトータル個数濃度は $10^2 \sim 10^3$ 個/ccと比較的に低濃度であった。これはDMAで単分散化していることが理由として挙げられる。トータル個数濃度をより濃くするため高濃度に発生できるDOSやNaCl溶液も試験粒子として考えたが、これらの多分散粒子を発生した場合に他粒径の多価帯電した粒子の混入率が高くなると考えられるため今回は選択しなかった。
 - ・計測手順③の結果(P6～7)に**試験ライン**を経由した+1～+3価までの個数濃度を示した。+4価以降は比率が極めて小さく計測が困難であるため計測対象から外した。
 - ・PSL標準粒子の3粒径について+1～+3価の割合結果をWiedensohlerの理論値と比較したが、47nm及び100nmの割合結果は理論値とほぼ同等の値であった。この結果より当社のAm241中和器を用いることで理論値に近似した平衡帯電分布が得られると考えられる。一方で294nmの割合結果は理論値と比べて多少差があった。294nmは今回設定した条件で計測できる最大粒径に近かったことや他粒径に比べて単分散度が低かったこと等が要因として考えられる。
 - ・本試験手順をベースに今後は別のエアロゾル中和器の帯電性能を評価することも検討したい。

<計測手順①の結果>

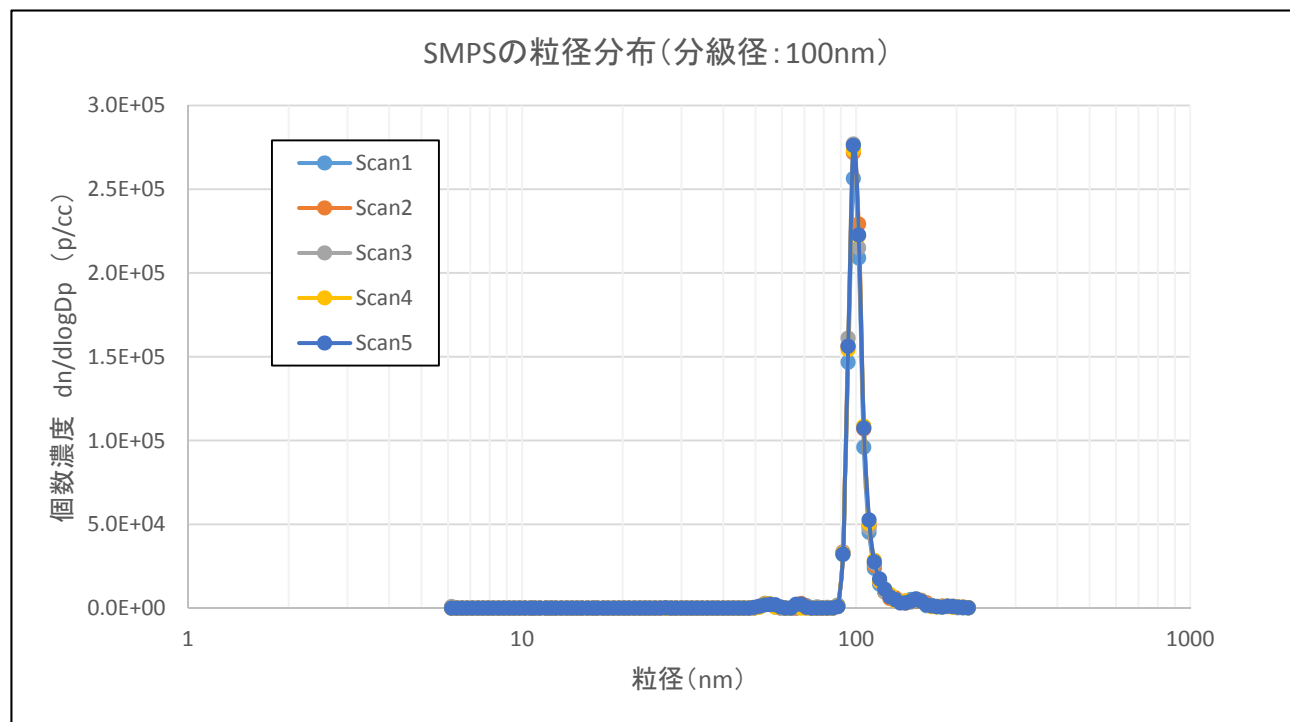
PSL標準粒子(粒径:47nm)

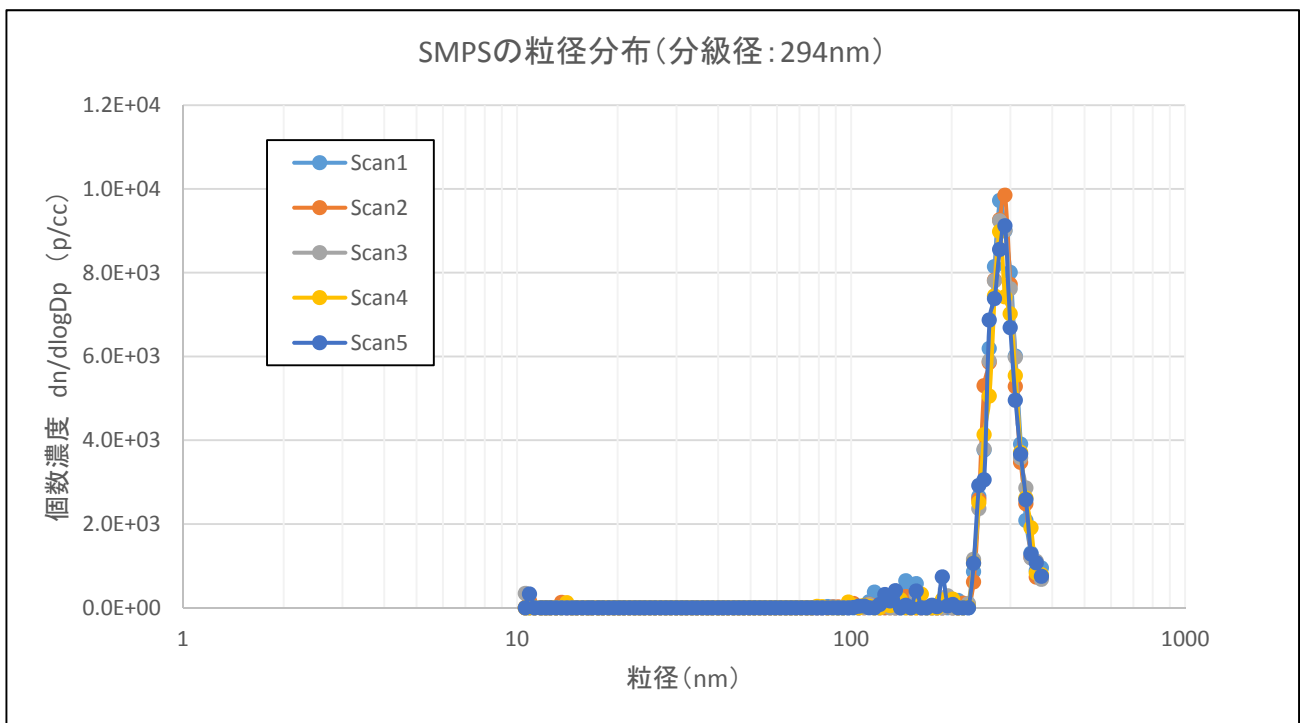
GSD:1.15(5回平均値)



PSL標準粒子(粒径:100nm)

GSD:1.13(5回平均値)





<計測手順②及び③の結果>

PSL標準粒子(粒径:47nm)

	試験No.	1回目	2回目	3回目	平均値	理論値
トータル個数濃度	試験手順②	1753	1811	1852	1805	-
+1価の個数濃度	試験手順③	284	288	293	288	-
+2価の個数濃度	試験手順③	9.42	9.86	9.89	9.72	-
+3価の個数濃度	試験手順③	0.04	0.04	0.05	0.04	-
+1価の割合	試験手順②&③	0.1619	0.1589	0.1585	0.1598	0.1639
+2価の割合	試験手順②&③	0.0054	0.0054	0.0053	0.0054	0.0054
+3価の割合	試験手順②&③	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0

PSL標準粒子(粒径:100nm)

	試験No.	1回目	2回目	3回目	平均値	理論値
トータル個数濃度	試験手順②	7591	7549	7476	7539	-
+1価の個数濃度	試験手順③	1621	1632	1612	1622	-
+2価の個数濃度	試験手順③	253	249	247	249	-
+3価の個数濃度	試験手順③	13.5	13.7	13.9	13.7	-
+1価の割合	試験手順②&③	0.2135	0.2163	0.2156	0.2151	0.2138
+2価の割合	試験手順②&③	0.0333	0.0330	0.0330	0.0331	0.0317
+3価の割合	試験手順②&③	0.0018	0.0018	0.0019	0.0018	0.0018

PSL標準粒子(粒径:294nm)

	試験No.	1回目	2回目	3回目	平均値	理論値
トータル個数濃度	試験手順②	986	975	954	971	-
+1価の個数濃度	試験手順③	149	155	154	153	-
+2価の個数濃度	試験手順③	74.6	73.3	72.3	73.4	-
+3価の個数濃度	試験手順③	24.5	23.8	24.2	24.2	-
+1価の割合	試験手順②&③	0.1510	0.1588	0.1617	0.1572	0.1798
+2価の割合	試験手順②&③	0.0757	0.0752	0.0758	0.0756	0.0873
+3価の割合	試験手順②&③	0.0249	0.0244	0.0254	0.0249	0.0287

