

■電荷発生装置とは？

国内の医療機関のリニアックのモニター線量計校正用の電離箱と電位計の校正については永年、医用原子力技術研究振興財団において電離箱と電位計の組み合わせを決めて校正する一体校正が行われてきました。しかし 2018 年度から電離箱と電位計を別々に校正する「分離校正」が始まっており、2023 年 4 月には分離校正への移行が完了します。

この分離校正では電位計に「1.0000」前後の値の「電位計校正定数 k_{elec} 」が付与されるようになり、電位計は 3 年間隔の校正となりました。

そのため 3 年間に亘り k_{elec} が変化していないか日常的に確認しておくことが重要で、これに用いるための装置が電荷発生装置です。当社の電荷発生装置は電位計本体に内蔵する形で搭載されているのが特徴です。

電荷発生装置には出力電流と出力電荷を正確かつ安定に出力できることが求められますので、本機では校正機関が使用している装置と同レベルの極めて高い精度と安定性を実現しました。

本機では出力電流と出力時間を設定しそれらの積を出力電荷としています。これは校正機関が行っている電位計の校正方式と基本的に同じです。この方式では電離箱から出力される電流とリニアックの出力時間をそのまま設定でき、実際の使用状態に近い設定で電位計を点検できます。

■操作は簡単

希望する出力電流が $\pm 2000\text{pA}$ 以下の場合は Output1 の端子に専用ケーブルを接続し、 $\pm 2000\text{pA}$ を超える場合は Output2 へ接続します。次にメニュー画面で「電荷発生」ボタンを押して電荷発生装置の設定画面を開きます。この画面で出力電流[pA]と出力時間[sec]を設定すると電流 \times 時間 = 電荷で出力電荷が設定されます。例えば Output1 の出力電流に -20.000pA を設定し、出力時間に 50.0sec を設定すると -1.00000nC の出力電荷が設定されます。出力の極性は士どちらでも可能です。

出力電流は Output1 からは $\pm 0.005\text{pA} \sim \pm 2000.000\text{pA}$ を、Output2 からは $\pm 0.05\text{pA} \sim \pm 20000.00\text{pA}$ を設定できます。出力時間は $0.1\text{sec} \sim 1000.0\text{sec}$ を設定でき、出力電荷は Output1 から $\pm 0.00000\text{nC} \sim \pm 2000.00000\text{nC}$ を、Output2 からは $\pm 0.0000\text{nC} \sim \pm 20000.0000\text{nC}$ を設定できます。

■他の電位計も点検できます

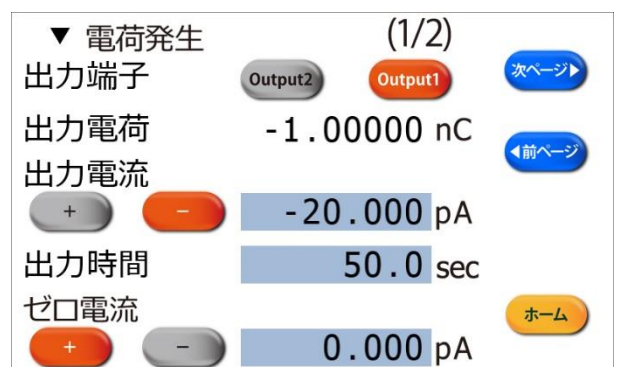
専用ケーブルの反対側の端子を電位計の Detector 端子へ接続すると自分自身の電位計の測定精度を点検することができます。同様に他の電位計へ接続してその電位計の測定精度を点検することもできます。さらにリニアック室と操作室の間に敷設された延長ケーブルの健全性を点検することも可能で、電荷発生装置は放射線治療部門における必需品と言えます。



Output1 と Output2 の 2 つの出力端子があります。



Menu 画面で「電荷発生」を押すと下記の画面へ替わります。



電流と時間を設定すると電荷が自動的に設定されます。



Output1 から他社の電位計へ専用ケーブルで接続した例

■出力は極めて安定

当社で測定した出力電荷の揺らぎの具体例を右に示します。EMF521R 型電位計の Detector 端子と電荷発生装置の Output1 とを付属の専用ケーブルで接続し+19.8pA と+198pA と+1980pA を 50 秒間、つまり+0.99nC と+9.9nC と+99nC を出力し、それを 10 回繰り返し測定した結果の変動係数(相対標準偏差)は 0.00883%、0.00078%、0.00019%でした。このように出力は極めて安定しています。電荷発生装置にも電位計と同様の自動温度補償を採用したことで暖機の途中でも安定に出力できるようになりました。

ファーマー形電離箱を EMF521R 型に接続し、リニアックで繰り返し照射して測定した値と比べたところ、198pA 以上での変動係数(相対標準偏差)はリニアックの 1/10 以下でした。このことから電荷発生装置の出力はリニアックの X 線出力より安定していることがわかりました。

	単位	19.800pA × 50秒	198.000pA × 50秒	1980.000pA × 50秒
1回目	nC	0.99006	9.90007	99.00009
2回目	nC	0.99018	9.90006	99.00014
3回目	nC	0.99027	9.90010	99.00051
4回目	nC	0.99022	9.90015	99.00010
5回目	nC	0.99012	9.90003	99.00032
6回目	nC	0.99024	9.90026	99.00012
7回目	nC	0.99002	9.90017	99.00040
8回目	nC	0.99014	9.90008	99.00041
9回目	nC	0.99027	9.90003	99.00039
10回目	nC	0.99023	9.90001	99.00061
平均値	nC	0.99018	9.90010	99.00031
標準偏差	nC	0.00009	0.00008	0.00019
相対標準偏差	%	0.00883	0.00078	0.00019

Output1(最大±2nA)の出力電荷の繰返し性を調べた例
(この測定結果は電荷発生装置と EMF521R 型電位計
の両方の揺らぎが合成された結果と考えられます。)

■電荷発生装置の仕様 (EMF521R 型用、EMF521R2 型用共通仕様)

1. 電流制御方式 : 出力電流をフィードバック制御するアクティブ方式
2. 出力電流波形 : 直流
3. 出力設定方式 : 出力時間と出力電流を設定するとそれらの積で出力電荷が設定される方式。
4. 出力時間設定範囲 : 0.1 秒～1000.0 秒
5. 出力電流設定範囲 : Output1 ±0.005pA～±2000.000pA (設定が可能な分解能は 0.005pA)
Output2 ±0.05pA～±20000.00pA (設定が可能な分解能は 0.05pA)
6. 出力電流有効範囲 : Output1 ±20pA (最小定格電流)～±2000pA (最大定格電流)
Output2 ±200pA (最小定格電流)～±20000pA (最大定格電流)
7. 出力電荷表示範囲 : Output1 ±0.00001nC～±2000.0000nC
Output2 ±0.0001nC～±20000.000nC
8. ゼロ点ドリフト : 最小定格電流に対し±0.1%以内
9. ゼロ点ドリフトの温度係数 : 最小定格電流に対し±0.015%/°C以内
10. 出力電流の温度係数 : 最大定格電流の 1/2 を出力時に±0.0025%/°C以内
11. 出力電流の非直線性 : 最大定格電流の 1/2 を基準に全有効範囲で±0.1%以内
12. 出力電荷の時間非直線性 : 最大定格電流の 1/2 を出力時に 10 秒を基準に 1～100 秒で±0.01%以内
13. 出力時間の精度 : 50ppm 以内
14. 出力電荷の不確かさ : Output1 出力時間 50 秒で±1nC～±100nC において 0.29%以内
(k=2・納入後 1 年以内) Output2 出力時間 50 秒で±10nC～±1000nC において 0.20%以内
15. 長期安定性 : ±0.1%/年以内
16. 安定化時間 : 起動後 1 時間経過時を基準として、15 分経過時と 6 時間経過時の
最大定格電流の 1/2 の出力の差が±0.02%以内
17. 繰返し性 : 最小定格電流を 50 秒出力させて電荷測定を 10 回繰り返した場合の変動係数が 0.01%以内
18. 専用接続ケーブル : 三重同軸 BNC コネクタ付き電離箱用延長ケーブル 3m 長(付属品)
19. 使用時の環境 : 気温: 20～30°C 湿度: 10～80%(結露が無い事) 暖機時間: 15 分以上
20. 製品の形態 : EMF521R 型電位計または EMF521R2 型電位計の内部に搭載されます。

■Output1(最大±2nA)の出力電荷の繰り返し性をさらに詳しく調べてみました。

出力電流設定値	pA	2.000	10.000	20.000	100.000	200.000	1000.000	2000.000
出力電荷設定値	nC	0.10000	0.50000	1.00000	5.00000	10.00000	50.00000	100.00000
1回目測定値	pC	99.970	499.958	999.921	4999.909	9999.699	49999.45	100005.57
2回目測定値	pC	99.965	499.970	999.921	4999.886	9999.688	49999.43	100005.35
3回目測定値	pC	99.961	499.970	999.891	4999.908	9999.689	49999.45	100005.58
4回目測定値	pC	99.946	499.966	999.900	4999.888	9999.665	49999.31	100004.94
5回目測定値	pC	99.991	499.996	999.892	4999.859	9999.697	49999.52	100005.31
平均値	pC	99.967	499.972	999.905	4999.890	9999.688	49999.43	100005.35
標準偏差	pC	0.016	0.014	0.015	0.020	0.014	0.076	0.260
変動係数	%	0.0163	0.0029	0.0015	0.0004	0.0001	0.0002	0.0003
設定値との差	%	-0.0330	-0.0056	-0.0095	-0.0022	-0.0031	-0.0011	0.0053

上記のデータは、Output1 と Output2 のふたつある電荷発生装置の出力端子のうち、出力電流範囲が±0.005pA～±2000pA の Output1 の性能を詳しく調べた例です。出力時間を 50.0 秒に固定し、出力電流を 2pA～2000pA の範囲で 7 段階変えて設定しました。出力電荷は 0.10000nC、0.50000nC、1.00000nC、5.00000nC、10.00000nC、50.00000nC、100.00000nC の 7 種類です。下の写真の右側のように EMF520R 型電位計の Detector 端子と Output1 の端子を専用ケーブルで接続し、電荷測定を 5 回繰り返し、記録しました。EMF520R 型では測定値が pC 単位で表示されるため、上の表の測定値は pC 単位で記載しました。

EMF520R 型は EMF521R 型の姉妹機種ですが、測定できる最大電流は±2000pA で EMF521R 型の 1/10 です。

0.6cm³ の空気体積を持つファーマー形電離箱でリニアックの出力を測定した場合、電離箱から出力される電流は±2000pA を超える場合があるため、EMF520R 型は放射線治療部門用にはお勧めしておりません。しかし±200pA 以下では電荷測定値の繰り返し性が EMF521R 型より優れているため、Output1 の出力性能をより正確に調べることができます。

測定結果を見ると、出力電流が 2～200pA の範囲では電荷測定値の標準偏差に大きな差が無いことに注目できると思います。さらに 100～2000pA における変動係数(相対標準偏差)は 0.0001～0.0004%という極めて低い値に収まっています。10pA 以上では設定された出力電荷と測定された電荷の差が 0.1%を大きく下回っていて、電位計校正定数 k_{elec} を点検するのに適した精度や安定性を持っていることがわかります。

なお上記のデータは弊社において室温 24.1～24.9℃、湿度 60～61%の環境で測定した一例です。

製品には 1 台ずつ僅かではありますが特性に違いがありますので、性能については上記の測定例を保証するものではありません。

弊社が保証できる性能は仕様に記述された範囲です。個々の製品の性能については出荷時に実測した検査成績書が製品に添付されていますので、そちらをご確認下さい。



Output1 から自分自身の Detector 端子へ接続した例



Output1 から右側の EMF520R 型電位計の Detector 端子へ接続した例

■Output2(最大±20nA)の出力電荷の繰り返し性も調べてみました。

出力電流設定値	pA	2.00	20.00	200.00	2000.00	20000.00
出力電荷設定値	nC	0.1000	1.0000	10.0000	100.0000	1000.0000
1回目測定値	pC	100.078	1000.288	10000.873	100005.60	1000089.9
2回目測定値	pC	100.155	1000.191	10000.815	100005.67	1000092.6
3回目測定値	pC	100.010	1000.306	10000.852	100005.85	1000092.3
4回目測定値	pC	99.972	1000.369	10001.054	100005.76	1000091.1
5回目測定値	pC	99.987	1000.333	10000.975	100005.89	1000095.8
平均値	pC	100.040	1000.297	10000.914	100005.75	1000092.3
標準偏差	pC	0.076	0.067	0.098	0.121	2.210
変動係数	%	0.0758	0.0067	0.0010	0.0001	0.0002
設定値との差	%	0.0404	0.0297	0.0091	0.0058	0.0092

上記のデータは、Output2の端子に専用ケーブルを接続し、ケーブルの反対側はEMF521R型(自分自身のDetector端子)およびEMF520R型に接続し、出力時間を50.0秒に固定し出力電流を変えて設定しました。出力電流が20000pAの時だけEMF521R型に接続し、2000pA以下はEMF520R型に接続して測定しました。測定値の単位は前ページと同様pCに揃えました。

Output2はOutput1の10倍の±0.05pA～±20000pAの範囲の出力電流を設定することができます。

Output2はEMF521R型で測定できる最大電流まで出力を設定できますし、他社製電位計のいくつかの機種 of Mレンジを点検するのにも適した出力電流範囲を持っていますので、電位計の日常点検にはOutput2を用いた方が便利に感じられるかも知れません。

それではなぜOutput1の端子を設けたのか？ それは±200pA以下の出力ではOutput1の方が出力電荷の精度や繰り返し性が優れているからです。二者の性能がどのように異なるのか事前に知っておけば最適な使い方ができます。Output2のデータを見ると、日常点検なら2pA～20000pAの範囲で充分使えそうな精度や繰り返し性で出力できていることがわかります。しかし電位計の性能を厳密に調べる場合には、Output1は±20pA～±2000pAの出力電流で、Output2は±200pA～±20000pAの出力電流でお使い下さい。データを詳細に比べて頂けますとその理由がおわかり頂けると思います。

なおこのページのデータも前ページと同様の環境で測定しました。

製品には1台ずつ僅かではありますが特性に違いがありますので、性能については上記の測定例を保証するものではありません。

弊社が保証できる性能は仕様に記述された範囲です。個々の製品の性能については出荷時に実施した検査成績書が製品に添付されていますので、そちらをご確認下さい。

電位計の詳細説明については別紙 [EMF521R型カタログ](#) および [EMF521R2型カタログ](#) を御覧下さい。

上記内容の一部は予告なく変更される場合があります。

EMF ジャパン株式会社

〒671-1226 兵庫県姫路市網干区高田 381 番地

TEL:079-262-6773 FAX:079-262-6774

<https://www.emf-japan.com/>

(2023年3月1日更新)