

## 〔原 著〕 高周波化されたインバータ式X線装置の特性解析

安部 真 治, 小 倉 泉, 根 岸 徹, 加 藤 洋,  
宮 崎 茂\*, 斎 藤 一 彦\*\*, 青 柳 泰 司\*\*\*, 熊 谷 曜 子\*\*\*\*

### 〔要 旨〕

近年, 電子技術の進歩に伴い, X線装置の分野ではインバータ式X線装置が普及してきた。最近ではインバータ周波数が数十kHz以上に高周波化された装置も出現している。今回, この高周波化されたインバータ式X線装置について管電圧波形, リプル百分率, 短時間特性, 百分率平均誤差, X線出力の再現性, 一次側波形と出力の関係を検討し, 波形解析を行った。これらの結果, 最新のインバータ式X線装置の動作機構と諸特性について明確にした。

### 〔キーワード〕

インバータ周波数, 特性解析, リプル百分率, 管電圧波形, 再現性

### 1. 緒 言

インバータ式X線装置(以下:インバータ式装置)は近年の電子技術の発達とともに1980年代より急速に普及, 発展してきた装置である<sup>1)~3)</sup>。初期のインバータ式装置ではインバータ周波数は数百Hz程度であり, 従来の三相装置に比べあまり大きな特性的な差は見られず, むしろ劣るものもみられた。その後, 大電力用半導体制御素子も初期のサイリスタ, トランジスタから MOS FET (metal oxide semiconductor field effect transistor), IGBT (insulated gate bipolar transistor) が用いられるようになり十数年の間にインバータ周波数も数kHz~数十kHzへと高周波化が可能となった。現在国内のインバータ式装置は各種インバータ周波数の装置が混在し, その諸特性も様々であるが, 一般的にはインバータ周波数の高周波化に伴い各種制御回路も高精度なものとなり, 装置性能の向上がみられる<sup>4)</sup>。最近, ようやく国内各社のインバータ式装置も出揃い, 現在, 最高イ

ンバータ周波数10~数十kHzの装置が出現し, 一応の落ち着きをみせている<sup>5)~10)</sup>。従って急速に発展したこれらの装置の特性を十分熟知した上で, X線撮影技術の向上に努める必要がある。しかし, これらインバータ式装置の内部機構についてはあまり明確にされておらず, これらの相互関係についての検討も必要となっている。このインバータ式装置の諸特性を把握するにはX線装置の一次側諸量と二次側出力についてのダイナミックスタディと波形解析が不可欠である。今回, 高周波化された最新のインバータ式装置3台について各種計測器を接続し, 管電圧, 管電流, 蛍光量の測定と共に百分率平均誤差, X線出力の再現性, 管電圧波形, リプル百分率, 短時間特性, 一次側波形と出力波形の関係などについて解析を行い検討した。また, 新たに定電圧に対する蛍光量比を算出するための特性解析プログラムを作成し, 定電圧とX線出力の関係を求めた。これらの結果, 従来ブラックボックス的要素の強かった電源入力からX線出力に至るまでのインバータ式装置の動作特

\* 東邦大学医学部附属大橋病院

\*\* 東京都立医療技術短期大学非常勤講師

\*\*\* 東京都立医療技術短期大学客員教授

\*\*\*\* 日本大学大学院理工学・医療福祉

性と特性に影響を与える諸因子について分析できた。また、インバータ式装置の今後の課題と問題点についても検討を加えたので報告する。

## 2. 装置・器具

- ・装置A：インバータ式X線装置，共振形
- ・装置B：インバータ式X線装置，共振形
- ・装置C：インバータ式X線装置 方形波
- ・管電圧・管電流：AB-2015D（トーレック）
- ・蛍光量計：EY-1001D（トーレック）
- ・オシロスコープ：7633（ソニーテクトロニクス）
- ・デジタルメモリ：TCDC-8000E（理研電子）
- ・パーソナルコンピュータ：PC-9801DA7（日本電気）
- ・プリンタ：D-SCAN CH-5301（セイコー電子）
- ・アイソレータ：A6902B（ソニーテクトロニクス）
- ・電流検出器（CT）：自作

## 3. インバータ式装置の概要・基本回路

各装置の比較を表1に示す。また基本回路構成を図1(a)～(c)に示す。

装置A：三相電源，共振形，最大出力80 kWの装置である。インバータにはIGBTを使用し最高30 kHzの周波数でスイッチングを行い，共振

コンデンサと共振コイルで直列共振回路を形成する。X線管フィラメント加熱周波数は15 kHzの方形波加熱である。管電圧，管電流は共にフィードバック制御が行われている。（図1(a)）

装置B：単相電源，共振形，最大出力50 kWの装置である。インバータにはバイポーラトランジスタを用い，インバータ周波数を10 kHz一定とし，インバータの位相差制御及び一次電圧により出力の調整を行う。共振コンデンサと高電圧変圧器の漏れリアクタンスとで直列共振回路を形成し，X線管フィラメント加熱周波数は2.5 kHzの方形波加熱である。管電圧，管電流及び入力電圧の制御にはデジタルフィードバックが行われている。（図1(b)）

装置C：三相電源，方形波，最大出力80 kWの装置である。インバータにはIGBTを用いている。チョッパ周波数15 kHzで管電圧に応じた方形波パルスが発生させフィルタ回路を経てインバータ回路に加わる。インバータ回路では15 kHzの交流出力電圧となり，高電圧変圧器に加わり，二次側に高電圧を生じる。X線管フィラメント加熱周波数は25 kHzである。管電圧は高圧側の分圧器より，管電流は管電流検出器によりフィードバック制御が行われる。（図1(c)）

## 4. 方 法

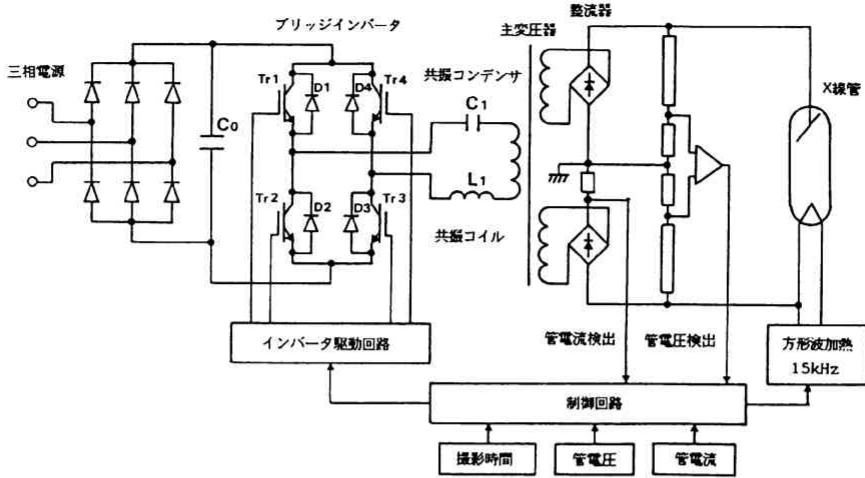
制御方式の異なる最近のインバータ式装置（装置A，B，C）に各種計測器を接続し，ダイナミックスタディを行った。管電圧，管電流，蛍光量の測定及び各波形をオシロスコープ及びデジタルメモリに同時に取り込み，記録された波形について管電圧，管電流，蛍光量，撮影時間，リプル百分率など一連の解析を行った。X線出力波形に影響する一次側波形の解析にはアイソレータ及び電流検出器（CT）を用いて一次側の電圧，電流の測定を行い，これら一次側の諸因子と出力波形との関係について解析した。さらに定電圧に対する各装置のX線出力比を求めるプログラムを新たに作成し比較検討した。

### 4.1 解析項目

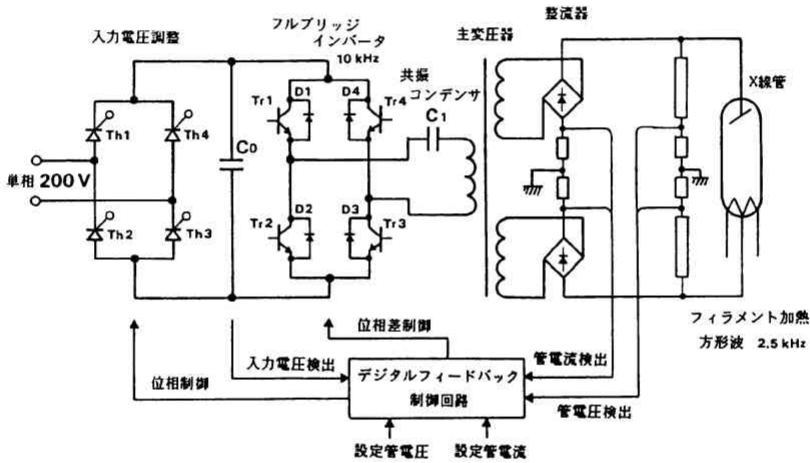
リプル百分率，撮影時間及び立ち上がり，立ち

表1 装置比較一覧

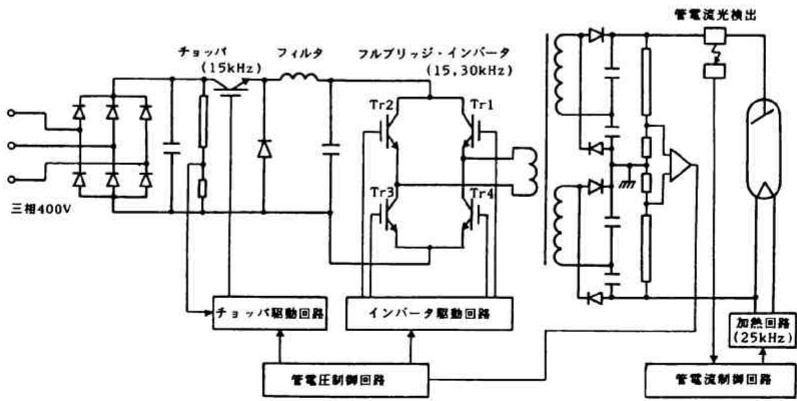
	装置A	装置B	装置C
最大出力	80 kW	50 kW	80 kW
インバータ	共振形	共振形	方形波
インバータ周波数	～30 kHz	10 kHz	15 kHz
出力の制御方式	周波数可変制御	1次電圧及び位相差制御	チョッパ°、インバータのPWM制御
制御系の信号処理形式	アナログ	DSPによるデジタル	アナログ
フィードバック検出位置	2次側	2次側	2次側
加熱周波数	15 kHz	2.5 kHz	25 kHz



(a)



(b)



(c)

図1 装置の基本回路

(a)装置A (b)装置B (c)装置C

下がり特性、一次側諸量と二次側出力、百分率平均誤差と変動係数について行った。このうちリプル百分率、撮影時間、百分率平均誤差及び変動係数についてはJIS Z 4702 (1993) に従って解析した。

4.1.1 リプル百分率

リプル百分率は次式で定義される。

$$\epsilon = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max}} \times 100 (\%) \dots\dots\dots(1)$$

U<sub>max</sub>：電源の各周期における管電圧波形の最高値

U<sub>min</sub>：電源の各周期における管電圧波形の最小値

これより管電圧の最高値、最小値を求め、各負荷条件でのリプル百分率を解析した。

4.1.2 撮影時間及び立ち上がり、立ち下がり特性

撮影時間はJISの定義に基づき管電圧波形の立ち上がり部及び立ち下がり部の75%により求めた。これより立ち上がり、立ち下がり特性について分析し、短時間でのX線出力（蛍光量）との関係を求めた。

4.1.3 一次側諸量と2次側出力

一次側電圧と出力の関係についてアイソレータを接続し、一次電圧波形と管電圧波形の関係を求めた。また、共振形の装置では一次側電流波形（共振電流波形）と管電圧波形の関係を測定するため回路に電流検出器（CT）を接続し、一次側電流波形及びインバータ周波数と出力の関係を求めた。また、今回作成した解析プログラムにより、定電圧に対するX線出力の関係を求めた。

4.1.4 百分率平均誤差と変動係数

各インバータ式装置の精度について管電圧及び管電流の百分率平均誤差（PAE）を、X線出力の再現性について変動係数（C）を求めた。PAEは連続した10回の測定値から次式による。

$$PAE = \frac{X_p - \bar{X}}{X_p} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

PAE：百分率平均誤差， $\bar{X}$ ：測定値の平均値，

X<sub>p</sub>：設定値または表示値

変動係数は連続した10回の蛍光量から次式で求

める。

$$C = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{1}{\bar{X}} \left[ \frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{9} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(3)$$

C：変動係数，S：10回の測定による標準偏差

$\bar{X}$ ：10回の測定による相加平均値，X<sub>i</sub>：i番目

の測定値

5. 結果および考察

5.1 リプル百分率

X線装置のリプル百分率の大小は直接X線出力に関係するために波形は定電圧に近く立ち上がり、立ち下がり時間が零に近いものが望ましい。図2(a)～(c)は100 kV、100～800 (500) mAのオシロ波形である。図3(a)～(c)に100 kV、500 mAの各装置の解析波形を示す。各々管電圧U、管電流I、蛍光強度波形Fを示す。これらの波形についてのリプル百分率の解析結果を表2に示す。これより装置Aのリプル百分率は100～800 mA負荷で1.0～4.7%程度となり、立ち上がり、立ち下がりが速く、低電圧、軽負荷でリプル百分率はやや大き

表2 リプル百分率

(a)装置A

kV	mA	100	200	400	500	800
60		4.72	3.69	2.38	2.78	----
80		3.99	2.24	1.79	2.22	----
100		2.03	1.54	1.73	2.02	2.31
120		1.08	0.99	1.40	1.53	----

(b)装置B

kV	mA	100	200	400	500	630
60		2.88	4.55	6.58	8.09	9.25
80		2.35	3.79	5.45	6.20	7.37
100		2.35	4.02	4.87	5.37	----
120		2.18	4.06	4.12	----	----

(c)装置C

kV	mA	100	200	400	500	800
60		2.22	2.45	3.76	3.51	4.43
80		1.62	1.54	2.96	3.08	3.58
100		1.54	1.44	2.33	3.02	2.86
120		1.04	1.37	2.32	2.23	----

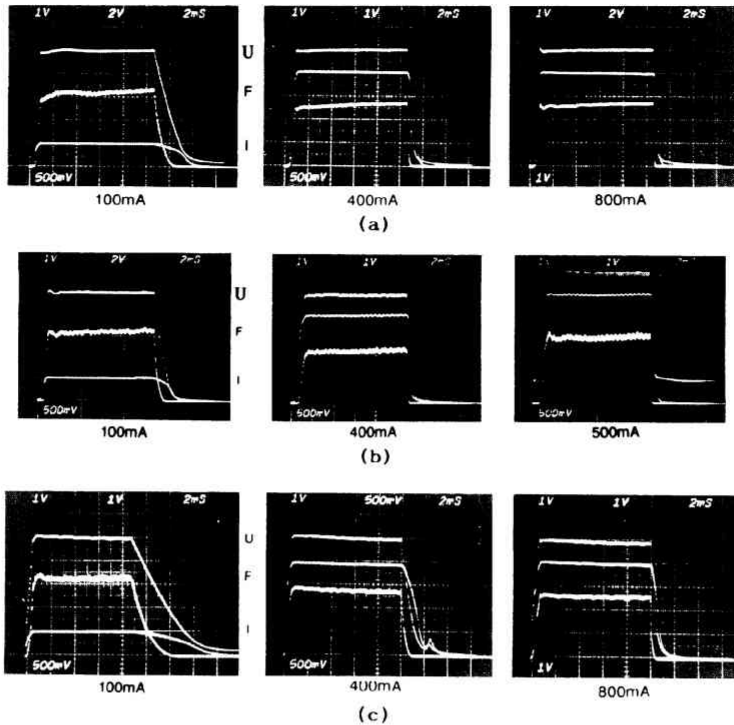


図2 高電圧波形  
 100 kV, 100, 400, 800(500) mA  
 U: 管電圧 I: 管電流 F: 蛍光強度  
 (a)装置A (b)装置B (c)装置C

いが高電圧，大負荷になるほど定電圧に近い。一般的にX線装置では負荷が大きいほどリプル百分率は大きくなり出力も低下する傾向にあるが，この装置では負荷が大きくなるとインバータ周波数を大きくし，最大出力で最高周波数になるように出力を制御するため大負荷でリプル百分率は小さく，軽負荷では大きくなる。

装置Bのリプル百分率は100～630 mA負荷で2.2～9.3%程度となった。このように低電圧，軽負荷ではリプル百分率は小さくほぼ定電圧に近いが，大負荷になるとリプル百分率は大きくなる傾向を示す。これは同じ共振形の装置でも装置Aは負荷によって周波数を変化させる方法であり，装置Bではインバータ周波数は10 kHz一定とし，主にインバータの位相差を制御して出力の制御を行うためである。また，単相電源の装置のため最大管電流は630 mAであるが三相装置並の出力となっている。

装置Cは100～800 mA負荷でリプル百分率1.0～4.4%程度となり，方形波の装置のためリプル百分率は軽負荷で小さく，大負荷でやや大きくなる。しかしインバータ周波数が15 kHzのため800 mA負荷でも5%以下となる。

従来の三相装置や周波数の低いインバータ式装置では管電圧のリプルを少なくするため，高電圧側にコンデンサを付加しているものもあるが，今回のようにインバータ周波数が10 kHz以上の装置では高電圧ケーブルのケーブル容量（約200～250 pF/m）によりリプル百分率はかなり改善されるため，付加コンデンサを必要としなくなり，管電圧の立ち下がりがも短くなる。X線出力の大小にはリプル百分率が大きな影響をあたえるがこれらの装置のようにインバータ周波数が高周波化されてくると，X線管フィラメント加熱周波数も高周波化が必要となる。加熱周波数の脈動がX線出力に重畳し変動として現れるため，加熱周波数も

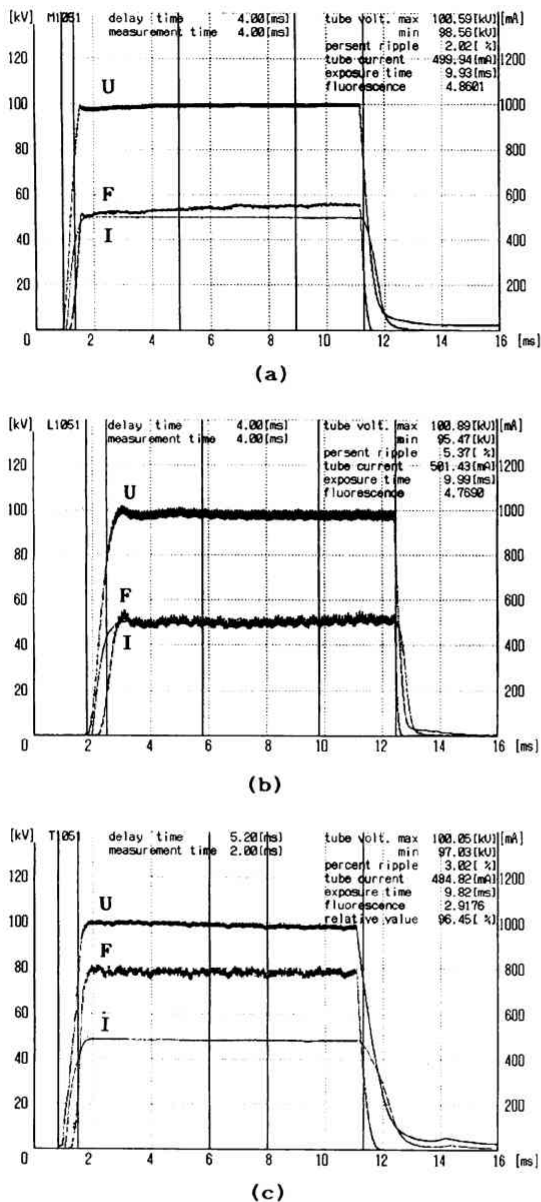


図3 パソコン解析波形例  
100 kV, 500 mA, 10 ms  
(a)装置A (b)装置B (c)装置C

数十kHz以上の装置が必要と考える。また、同じリプル百分率であっても管電圧の脈動波形の形状が大きく異なる場合にも出力に影響するものと考えられる。

5.2 撮影時間及び立ち上がり、立ち下がり特性

図4に各装置100 kV, 200 mAの短時間のオシロ波形を示す。表3(a)は解析した各装置の撮影時間の実測値、(b)は撮影時間の誤差を示す。インバータ式装置では電源周波数と関係なく任意の時間で撮影時間を制御できるようになったため、三相装置に比べ撮影時間の精度はかなり向上している。各装置の管電圧の立ち上がり、立ち下がり時間を表3(c)に示す。高周波化されたインバータ式装置では立ち上がり時間1 ms以内、立ち下がり時間1～2 ms程度となりかなり短くなっている。各装置の短時間特性(100 kV, 200 mA)を図5に示す。これより定常値に対する蛍光量比(F/mAs)は短時間側でやや非直線性を示すが±20%以内にありほぼ直線性は良い。この特性には主に撮影時間の誤差と管電圧の立ち上がり、立ち下がりの波形が影響する。装置Aが短時間側で上昇しているのは撮影時間が設定値より全体的に

表3 撮影時間(実測値)、撮影時間の誤差、立ち上がり・立ち下がり時間

(a) 撮影時間 (実測値)							
		100 kV 200 mA					
前示値(ms)	1	2	3.2	5	10	50	100
装置A		*2.95	3.67	5.39	10.1	49.2	98.0
装置B	1.01	1.97	3.19	4.96	10.0	49.9	99.9
装置C		*2.07	2.80	4.58	9.56	49.5	99.3
*前示値2.5 ms							

(b) 撮影時間の誤差				
		T<0.01s	0.01s≤T<0.04	0.04s≤T
インバータ式装置(JIS)				
		±1 ms	± 10 %	± 5 %
装置A 60kV 500mA		+ 0.28	- 2.20	- 2.29
100kV 200mA		+ 0.47	+ 1.30	- 2.09
装置B 60kV 500mA		- 0.04	- 0.40	- 0.17
100kV 200mA		+ 0.04	+ 0.40	+ 0.09
装置C 60kV 500mA		- 0.07	- 0.07	- 0.31
100kV 200mA		- 0.43	- 0.41	- 0.71

(c) 立ち上がり、立ち下がり時間

			(ms)
		立ち上がり時間	立ち下がり時間
装置A		0.6~0.7	0.5~1.1
装置B		0.7~1.0	0.3~0.7
装置C		0.6~1.0	1.0~2.5

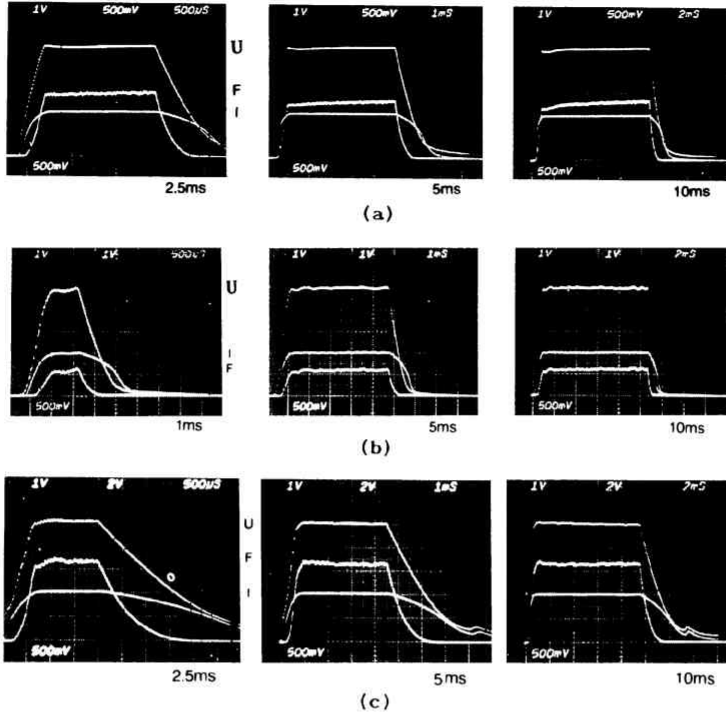


図4 短時間の高電圧波形  
100 kV, 200 mA, 1 (2.5), 5, 10 ms  
(a)装置 A (b)装置 B (c)装置 C

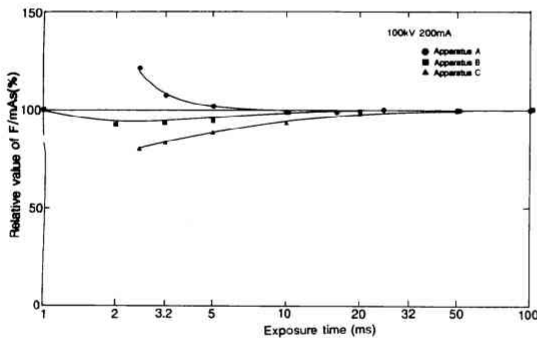


図5 短時間特性  
100 kV, 200 mA

0.45 msほど長いためであり、装置Cがやや下降するのは撮影時間が設定値より0.4 msほど短いためである。撮影時間に誤差がなければ短時間特性はさらに向上するものと考えられる。装置Bの撮影時間はほぼ設定値と同じであり、かなり良い直線性を示している。撮影時間に誤差がない場合、短時間特性は立ち上がり、立ち下がり時間の影響

が考えられる<sup>11)</sup>。

### 5.3 一次側諸量と2次側出力

装置Aは負荷によってインバータ周波数を変化させるため、一次側の共振電流波形と管電圧、管電流の関係を図6(a)に示す。管電流100 mAでは間欠的な電流波形となり周波数は比較的低い。800 mAの最大負荷では最高周波数に近くほぼ正弦波の波形となり一次電流も数百Aに達している。これよりインバータ周波数について解析した結果を図7に示す。50~800 mAの負荷電流で周波数は6~27 kHz程度まで変化し大電流になるほど周波数は高くなる。管電流400 mAのインバータ周波数は21 kHzであり、これ以上の周波数になるとリップル百分率はかなり小さくなる。X線出力は主にこのリップルに左右されるため自作特性解析プログラムにより、定電圧に対するX線出力比（蛍光量比）の関係を求めた。図8(a)に定電圧に対する蛍光量比を示す。定電圧に対し93~99%の出力比と

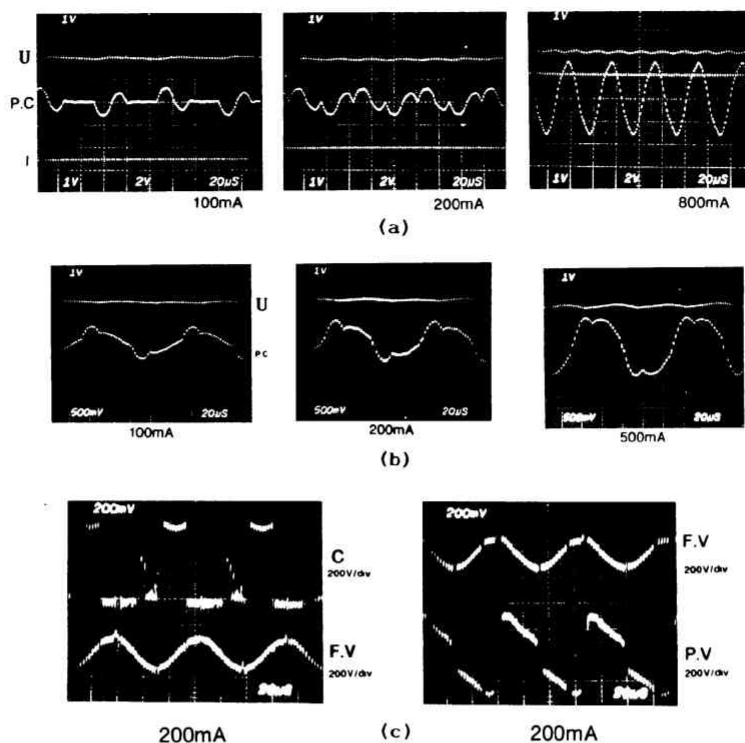


図6 一次側各電圧，電流波形と出力の関係(100 kV)

(a)装置A 一次側共振電流波形と管電圧，管電流

U：管電圧 P.C：一次電流(共振電流) I：管電流

(b)装置B 一次側共振電流波形と管電圧

U：管電圧 P.C：一次電流(共振電流)

(c)装置C 一次側電圧，電流

C：チョッパ出力電圧 F.V：フィルタ電圧 P.V：インバータ出力電圧

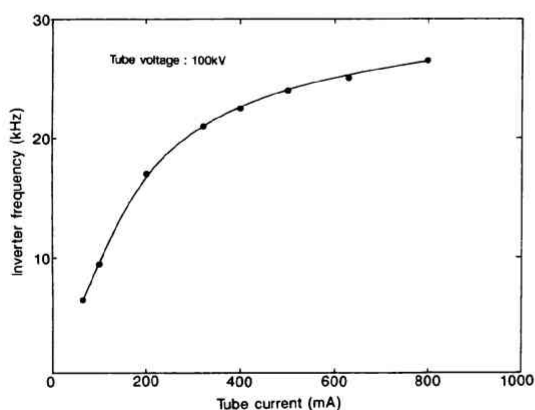


図7 負荷電流とインバータ周波数の関係(装置A)

なり，低電圧，軽負荷以外はほぼ定電圧に近いことがわかる。また，インバータ周波数が20 kHz以上になるとほぼ定電圧の装置と考えてよい。

図6(b)に装置Bの管電圧と一次側の共振電流波形を示す。100 mAから500 mA負荷になると電流値は大幅に増加するが，周波数は10 kHz一定で変化していない。このため装置Aとは異なった特性を示し，負荷電流が大きくなるにしたがいリプルは大きくなっていく。図8(b)は解析した定電圧に対する蛍光量比である。定電圧に対し97～89%の出力比となる。この場合は軽負荷ではほぼ定電圧の装置であり，200 mA以上になるとX線出力は低下する傾向になる。従って大負荷になるほどリプル百分率が大きくなる点では，従来の方形波のインバータ式装置と同様な傾向を示す。この装置で

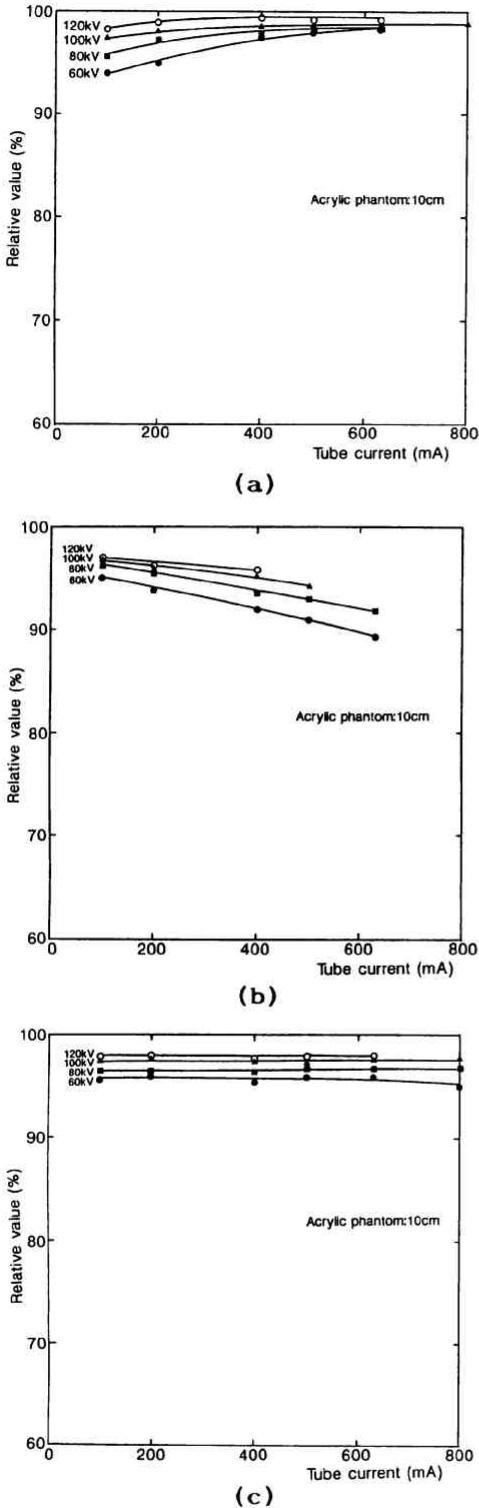


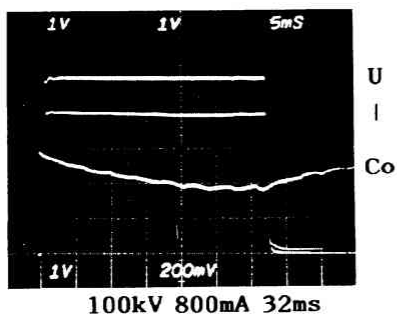
図8 定電圧に対する蛍光量比

(a)装置A (b)装置B (c)装置C

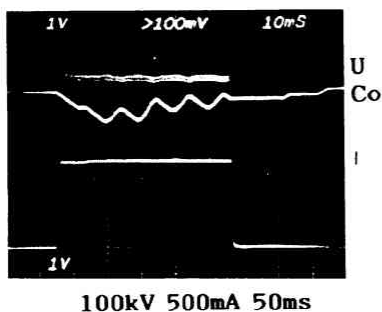
は他の装置と異なり大電流になるとリプル百分率が大きいため出力も低下する。インバータ周波数が現在の10 kHzから倍の20 kHz程度になればかなり改善するものと考えられる<sup>12)</sup>。

図6(c)に装置Cの100 kV, 200 mA負荷での一次側電圧波形を示す。左はチョップパの出力電圧とフィルタ電圧波形であり、管電圧の高低に応じてチョップパのデューティ比が変化する。この電圧はフィルタ回路を経てインバータ回路へ入力される。右はフィルタ電圧とインバータ出力電圧波形でフィルタ電圧の高さに応じてインバータ出力電圧の大きさが変化する。高電圧変圧器の一次側に加わることになる。図8(c)は解析した定電圧に対する蛍光量比である。この装置では定電圧に対する出力比は94~98%であり、管電圧の高い方では定電圧に近い。また、負荷電流が変化しても出力はほとんど変化せずほぼ一定の値を示す。撮影条件の面からはこのように負荷によってほぼ一定の出力比を示すものが望ましいと思われる。

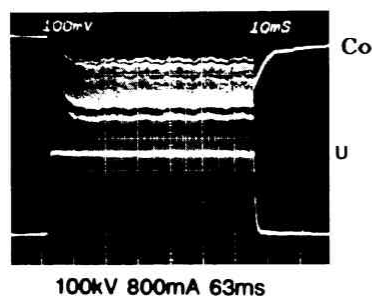
図9(a)~(c)に各装置の一次電圧（コンデンサ出力電圧： $C_o$ ）の変動と管電圧の関係を示す。インバータ式装置では供給電源をコンデンサバンクで直流に変換してインバータの入力電源とするため、直接的には電源電圧の変動や電源インピーダンスの影響は受けないが負荷によって一次電圧が低下することになる。装置Aでは100 kV, 800 mA負荷で $C_o$ が30%程度まで低下しても管電圧、管電流は一定の出力を示している。装置Bも単相電源であるが100 kV, 500 mA負荷で $C_o$ が20%程度低下しても管電圧、管電流に影響は見られない。装置Cは $C_o$ は35%程度低下し、電圧波形に振動が見られるが管電圧への影響はほとんどない。このように各装置とも一次電圧がかなり変動しても出力への変動はほとんど見られず、一定の出力を示す。また、管電圧、管電流の高電圧側でのフィードバック制御が行われており、出力の安定が図られている。図9(d)は装置Aの100 kV, 800 mA, 63 msの波形である。63 msの負荷時間では $C_o$ が67%以下になると補償できなくなり管電圧も低下している。この装置の電源は200 V電源を使用しており、これを400Vに昇圧するための単巻変圧器のインピーダンスが大きいために変動が



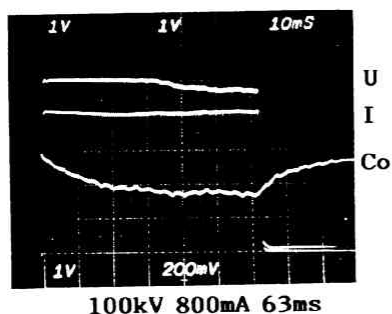
(a)



(b)



(c)



(d)

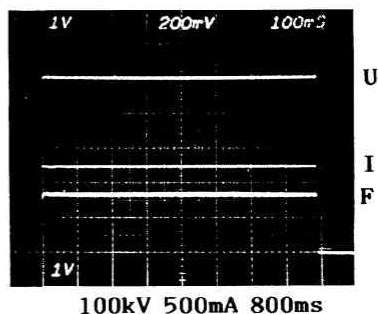
図9 一次電圧(コンデンサ出力電圧)の変動と管電圧の関係

U: 管電圧 I: 管電流 Co: コンデンサ出力電圧

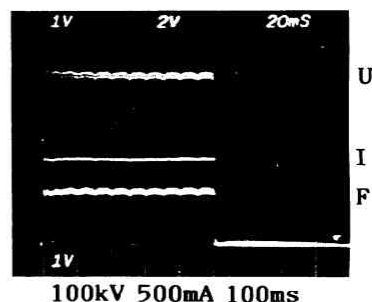
(a)装置A (b)装置B (c)装置C (d)装置A

大きくなっていると思われる。この対策としては電源に400 V電源を用いるか、昇圧用の単巻変圧器をインピーダンスの小さいものに改善することにより最大定格(100 kV, 800 mA, 0.1 s)の出力が可能である。インバータ式装置の特徴として特に電源電圧を選ばずに一定の出力を得ることができるが、電源によって最大出力が制限されるため、大出力を必要とする場合は400V電源を使用し、電源インピーダンスの低いものが望まれる<sup>3)</sup>。

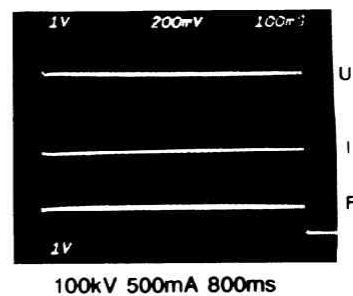
図10(a)~(c)は長時間負荷での高電圧波形である。



(a)



(b)



(c)

図10 長時間負荷の高電圧波形

(a)装置A (b)装置B (c)装置C

このように長時間の負荷でも一定で安定した出力を示す。しかし装置の最大出力は前述の電源電圧や電源インピーダンスにより制限されるため、最大定格での長時間負荷に対して十分な考慮も必要である。

#### 5.4 百分率平均誤差 (PAE) と変動係数 (C)

表 4 に装置 A, B, C の PAE 及び C を示す。PAE は装置 B では管電圧, 管電流の誤差はほとんど 1 % 以下であり, 精度が高い。装置 B は管電圧, 管電流のフィードバックを DSP 制御で行っているためかなり良好といえる。装置 A では管電流は数十 kV 毎の直線捕間で行っているためやや設定値の誤差が大きい。装置 C では管電圧, 管電流ともに再現性は良好であったが, 管電流の PAE は管電流値が若干低いためにやや大きい。これは CPU の RAM の再調整などにより解決できるものとする。しかし, 各装置とも JIS の基準を大幅に上回っており, 管電圧, 管電流の PAE は良好といえる。C は X 線出力の再現性を示すが, 各装置とも 0.01 以下であり JIS 規格 0.1 と比較するとかなり小さく, 再現性は優れているため X 線出力の変動はほとんど見られないことがわかる。このようにインバータ式装置では管電圧, 管電流の高電圧側でのフィードバック制御や電源周期と無関係に撮影時間の制御が行われることなどから, より高精度の制御が可能になるものと考えられる。

### 6. インバータ式装置の現状と課題

現在, 据置き形のインバータ式装置の最高インバータ周波数は 30 kHz である。初期の装置では数百 Hz 程度であったが, 制御素子に IGBT が用いられ, 百倍以上の周波数となり, 現在のところは

この数十 kHz 程度に落ち着いている。リップル百分率を低減するためにはさらに高周波化が望まれるが, 解析結果からインバータ周波数は数十 kHz 以上, X 線管フィラメント加熱周波数も数十 kHz 以上は必要である。

短時間特性についてはインバータ式装置では従来の装置に比較し, 撮影時間の精度向上と共に格段の進歩が見られるが最短時間までの直線性をより向上させるためには, 立ち上がり, 立ち下りの諸因子を再検討し JIS の定義の見直しも必要と思われる<sup>11)</sup>。

管電圧のリップル百分率と X 線出力の関係については装置の種類や負荷条件によってリップルの形状が異なる場合も考えられるためこれらについての綿密な定量化が必要になってきた。

インバータ周波数は今後も高周波化されると思われるが, 各種制御の安定性と高周波ノイズなどを考慮すると 50 kHz 程度が限度ではないかと考える。インバータ周波数が 50 kHz では整流された管電圧波形は 2 倍の 100 kHz の脈動を示すため管電圧波形の解析には少なくとも 100 kHz の周波数に対応できる計測器が必要となる。これまでの計測器は数十～数百  $\mu$ s 程度のサンプリング時間でも対応できたが, 数十 kHz のインバータ周波数では  $\mu$ s～ns オーダの計測器が必要となってきた。従来の装置は電源周波数をそのまま整流しているため X 線装置の計測にはほとんど問題とならなかったが, インバータ式装置ではインバータ周波数が高周波化されると, 高周波に対応できるような周波数特性や応答特性に優れたものが必要となる。従って計測にあたってはこれらの点を十分に考慮し検討する必要がある。また, インバータの高周波数化に伴い増加すると思われるスイッチングノイズによる他の電気機器への影響を防止するための対策も重要と思われる。

### 7. 結 語

回路制御方式の異なる最新の高周波化されたインバータ式装置について, 一次側の諸現象から高電圧側出力波形に至るまでの波形解析を行い装置の諸特性を検討した。これより従来ほとんど明確にされていなかった電源入力から X 線出力に至る

表 4 百分率平均誤差 (PAE) と変動係数 (C)

	100 kV 500 mA			
	装置 A	装置 B	装置 C	JIS 規格
管電圧 (PAE) (%)	0.07	0.56	-0.71	± 7 % 以内
管電流 (PAE) (%)	0.60	0.38	2.58	± 10 % 以内
再現性 (C)	0.006	0.001	0.000	0.1 以下

までの動作諸特性と出力の関係が分析可能となった。また、今後のインバータ式装置の動向と課題について明らかにできた。インバータ式装置は今後もさらに高周波化が進むと考えられるが、リップルの少ない定電圧の装置に近づけるためには、少なくともインバータ周波数とフィラメント加熱周波数はともに20 kHz以上は必要と思われる。しかし、X線装置の究極の目的である定電圧、定電流の完全な矩形波の実現に向けてまだまだ解決すべき問題も残している。今後、高周波化とともに短時間特性の直線性、リップル波形の改善、高周波ノイズ対策、X線装置計測上の問題点などについて解決して行く必要がある。

本論文の一部は日本放射線技術学会第19回秋季学術大会及び第48回総会において発表した。

## 謝 辞

本稿を終えるにあたりインバータ式装置の測定、資料などに多くの御協力をいただいた東芝、日立、島津製作所の各社関係者の方々に深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) Kelly, J. P. and Trout, E. D. : Physical Characteristics of the Radiations from 2-Pulse, 12-Pulse, and 1,000-Pulse, X-ray Equipment. Radiology 100 : 653-661, 1971.
- 2) 青柳泰司：第46回シンポジウム—インバータ式X線装置の特性と臨床効果— 2. 動作特性, 日本放射線技術学会雑誌46 : 1885-1900, 1990.
- 3) 青柳泰司：放射線機器工学 (I), 213-245, コロナ社, 1992.
- 4) 安部真治他：委員会報告—インバータ式X線装置の現状と諸特性について, 日本放射線技術学会雑誌50, 1651-1677, 1994.
- 5) 小林一郎他：共振型インバータ式高電圧装置の特性, 日本放射線技術学会雑誌47 : 1389, 1991.
- 6) 安部真治他：インバータ式X線装置の特性 (共振型最大出力 : 50 kW), 日本放射線技術学会雑誌48 : 221, 1992.
- 7) 安部真治他：共振型インバータ式X線装置 (インバータ式周波数30 kHz) の特性, 日本放射線技術学会雑誌48 : 1139, 1992.
- 8) 中川章他：最高周波数30 kHz共振型インバータ式高電圧装置UD150B-10の開発, JIRAテクニカルレポート1 : 24, 1991.
- 9) 畠山敬信他：10 kHz共振型インバータ式高電圧装置DHF-155Hの開発, 日立MEDIX 21 : 49-55, 1991.
- 10) 小林弘昌他：インバータ式X線高電圧装置の開発 (非共振形80 kW), 日本放射線技術学会雑誌49 : 1236, 1993.
- 11) 安部真治他：インバータ式X線装置の波形解析—短時間特性—, 東京都立医療技術短期大学紀要7 : 63-71, 1994.
- 12) 高橋順他：マイクロコントローラを用いた20 kHz位相差PWM制御インバータ式X線高電圧装置, 平成6年度電気学会全国大会講演論文集5 : 182-183, 1994.

## **The Analysis of Characteristics of High Frequency Controlled Inverter Type X-ray Generator**

Shinji ABE, Izumi OGURA, Toru NEGISHI, Yoh KATOH,  
Shigeru MIYAZAKI, Kazuhiko SAITO, Taiji AOYAGI, Yoko KUMAGAI

### **Abstract**

Inverter type X-ray generators have been popularized instead of conventional X-ray generators, due to the rapid development of power electronics and micro electronics technology. Recently, high frequency, more than tens of kHz, controlled inverter type generators can be seen in Japan.

The authors investigated the characteristics of the high frequency controlled inverter type X-ray generators. X-ray tube voltage waveforms, their percentage of ripples, short exposure time characteristics, percent average error (PAE), X-ray output reproducibilities and the relationship between the primary voltage waveform and X-ray output were examined and waveform analysis was performed.

The latest inverter type X-ray generator's system mechanism and dynamic characteristics were cleared.

### **Key words**

**Inverter frequency, Analysis of characteristics,  
X-ray tube voltage waveform, Percentage ripple, Reproducibility**