

600kV振動性インパルス 電圧発生装置

Generating Device of 600kV Oscillatory Impulse Voltage

小松 巖^{*1}
Iwao Komatsu
緒川 貴伸^{*1}
Takanobu Ogawa

1 まえがき

従来、雷インパルス試験電圧は、標準電圧波として急峻波頭の1.2/50 μ sと、そのさい断電圧波がJEC(電気規格調査会標準規格(電気学会))などで決められている。このインパルス電圧により、機器絶縁設計用の基礎データの取得や機器絶縁耐力の検証などが行われている。

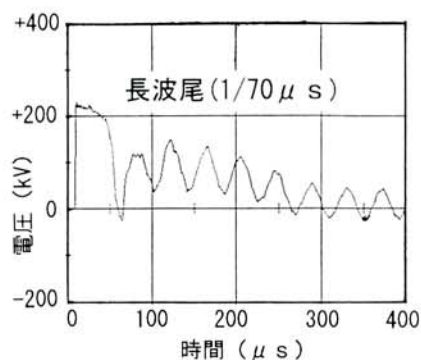
実際の送電系統への誘導雷撃や逆閃絡雷撃などにより、系統に接続されている変圧器、開閉器などに到来するサージ電圧は、送電系統構成や雷撃点位置などの影響を受けて、急峻波や振動波となることが多い。この急峻波や振動波のサージ電圧が変圧器に印加されると、巻線には急峻波による初期分担電圧のほか、巻線固有の周波数を有する振動電圧が現れる。

今回は、従来からの標準雷インパルス電圧発生に加え、振動波に対する絶縁破壊現象や絶縁特性などを把握する

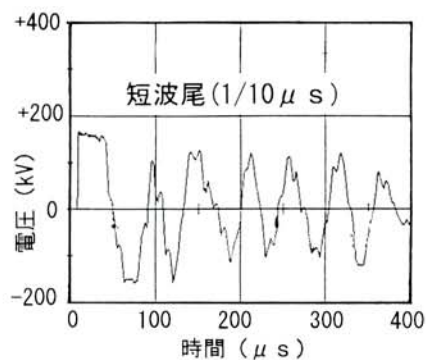
ため、振動性インパルス電圧が発生できる600kVインパルス電圧発生装置を新設したので、その概要を紹介する。

2 インパルス電圧波形の種類と形状

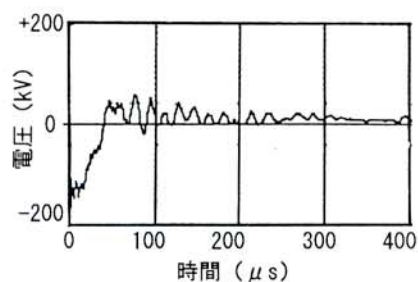
送電系統への雷撃には、送電線近傍雷撃による送電線への誘導雷、鉄塔あるいは架空地線に直撃した場合の送電線への逆閃絡などがある。これら雷撃により変電所の変圧器に到来するサージ電圧は、実系統実測やEMTP(Electro Magnetic Transient Program)解析によると、送電系統構成や雷撃点位置の影響を受けて、それぞれ異なった波形形状となる。誘導雷撃により変電所に到来するサージ電圧の波形は、長波尾誘導雷撃では図1(a)の単極性減衰振動波(正弦形状)、短波尾誘導雷撃では図1(b)の両極性減衰振動波(正弦形状)となることが多い。



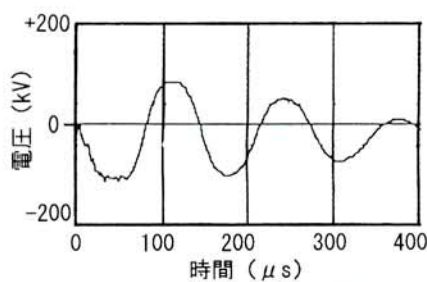
(a) 単極性減衰振動波



(b) 両極性減衰振動波



(c) 指数性減衰波



(d) 変圧器巻線誘起電圧

図1 / インパルス電圧波形例と変圧器巻線誘起電圧

Fig.1/Waveform examples of impulse voltage (a~c) and induced voltage in transformer winding (d)

一方、送電鉄塔などでの逆閃絡雷撃により変圧器に到来するサージ電圧の波形は、雷撃点か変電所から数kmでは両極性減衰振動波（正弦形状）、変電所近端逆閃絡では、波頭の立ち上りが急峻で減衰の大きい図1（c）の指数性減衰波（三角形状）及び再閃絡によるさい断波（矩形波）となる。

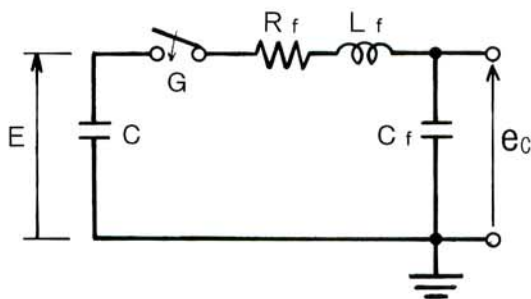
これら種々の波形形状を有するサージ電圧が変圧器端子に印加されると、変圧器巻線では入口から中性点に向けて、到来波形の形状を変えながら巻線の固有振動周波数を有する図1（d）の振動性波形（中性点非接地変圧器の例）になってくる。

以上のことから到来サージ電圧の急峻電圧波に対しては、従来の標準雷インパルス電圧波で、振動電圧波に対しては、新たな単極・両極性振動減衰電圧波でそれぞれ変圧器の絶縁性能を確認する必要がある。

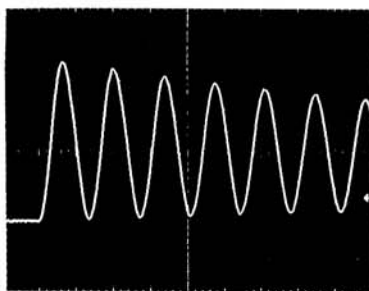
3 インパルス電圧波形の発生原理

3.1 単極性減衰振動電圧波の発生

アースに対して一方向に電位をもった単極性減衰振動電圧波発生回路は、図2（a）のようになる。静電容量Cのコンデンサを電圧Eに充電し、抵抗 R_f 、インダクタンス L_f 、静電容量 C_f との直列回路をギャップGで放電する。



(a) 単極性減衰振動電圧波発生回路



(b) 単極性減衰振動電圧波

図2 単極性減衰振動電圧波発生回路と出力波形

Fig.2/Generating circuit of uni-directional damped oscillatory voltage and output waveform

$$C \gg C_f, R_f \ll 2\sqrt{\frac{L_f}{C_f}}$$

の条件において、静電容量 C_f の両端の電圧 e_c は、次式で与えられる。図2（b）に単極性減衰振動電圧波を示す。

$$e_c = E(1 - e^{-\alpha t} \cos \beta t)$$

ここで、

$$\alpha = \frac{R_f}{2L_f}, \beta = \frac{1}{\sqrt{L_f C_f}}$$

3.2 両極性減衰振動電圧波の発生

アースの零電位を中心とした双方向の両極性減衰振動電圧波発生回路は、図3（a）のようになる。静電容量Cのコンデンサを電圧Eに充電し、インダクタンス抵抗 R_f 、インダクタンス L_f との直列回路をギャップGで放電する。

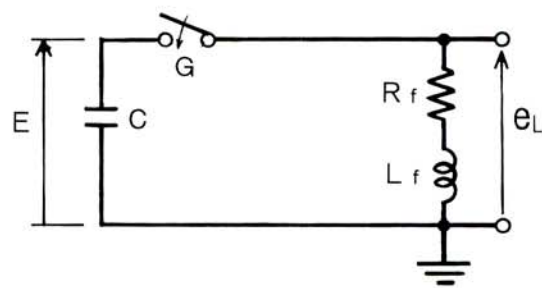
$$R_f \ll 2\sqrt{\frac{L_f}{C}}$$

の条件において、インダクタンス L_f とその抵抗 R_f の両端の電圧 e_L は、次式で与えられる。図3（b）に両極性減衰振動電圧波を示す。

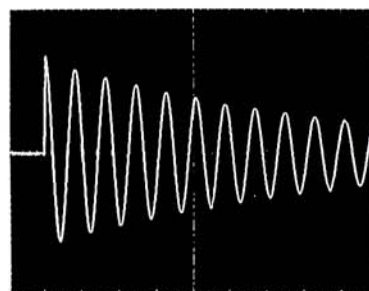
$$e_L = Ee^{-\alpha t} \cos \beta t$$

ここで、

$$\alpha = \frac{R_f}{2L_f}, \beta = \frac{1}{\sqrt{L_f C}}$$



(a) 両極性減衰振動電圧波発生回路



(b) 両極性減衰振動電圧波

図3 両極性減衰振動電圧波発生回路と出力波形

Fig.3/Generating circuit of bi-directional damped oscillatory voltage and output waveform

3.3 標準雷インパルス電圧波の発生

アースに対して一方向に電位をもった指数性の標準雷インパルス電圧波発生回路は、図4 (a) のようになる。静電容量Cのコンデンサを電圧Eに充電し、制動抵抗Rs、放電抵抗Ro、回路インダクタンスLとの直列回路をギャップGで放電する。

$$R_s + R_o \gg 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

の条件において、放電抵抗Ro両端の電圧 e_{R0} は、次式で与えられる。図4 (b) に標準雷インパルス電圧波を示す。

$$e_{R0} = kE (e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t})$$

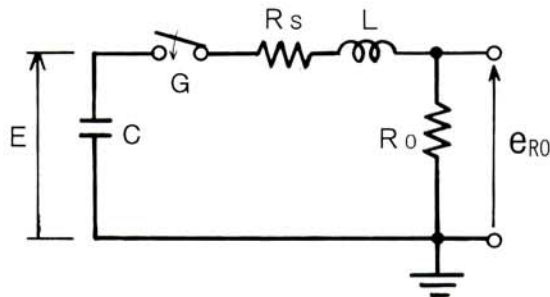
ここで、

$$k \doteq \frac{R_o}{R_s + R_o}$$

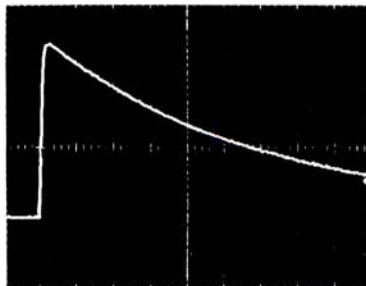
$$\alpha_1 \doteq \frac{1}{(R_s + R_o) C}$$

$$\alpha_2 \doteq \frac{R_s + R_o}{L}$$

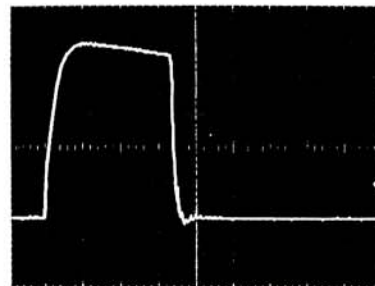
さい断電圧波は、標準電圧波出力のさい断ギャップ放電(さい断時間はギャップ間隔調整)で得られる。図4 (c) にさい断電圧波を示す。



(a) 標準雷インパルス電圧波発生回路



(b) 標準雷インパルス電圧波



(c) さい断電圧波

図4 標準雷インパルス電圧波発生回路と出力波形

Fig.4/Generating circuit of standard lightning impulse voltage and output waveforms

4 特徴

今回新設の600kVインパルス電圧発生装置は、振動性インパルス電圧発生機能を有し、自動制御、光制御などを採用している。この装置の特徴は、次のとおりである。

(1) 振動性インパルス電圧の発生

- ・単極性減衰振動電圧波と両極性減衰振動電圧波が発生できる装置とした。

(2) 自動制御方式の全面採用

- ・モータ駆動全球機械短絡始動方式の採用で確実な始動とした。
- ・自動充放電制御方式による操作性の向上を図った。
- ・光制御による多段ギャップ放電で自動さい断を可能とした。
- ・残留電荷の自動放電により安全性を確保した。
- ・正極性と負極性を自動切換できる方式とした。

(3) 光計測の採用

- ・標準電圧波、さい断電圧波のように急峻波の波形観測に光計測を採用した。

(4) インパルス帰路電流の漏洩防止

- ・接地回路は試験場の全面に銅板を敷き、一点接地とし、インパルス帰路電流の外部漏洩を防止した。

5 設備能力

5.1 方式・形式・定格

600kVインパルス電圧発生装置は、表1に示すように、標準雷インパルス電圧波、さい断電圧波のほかに、単極性減衰振動電圧波、両極性減衰振動電圧波を発生できる。公称電圧は発生波形の種類により異なるが、充電エネルギーを最大限利用する設計としている。

表1 / 600kVインパルス電圧発生装置の仕様

Tab.1/Specification of 600kV impulse voltage generator

方式	直列充電方式
形式	屋内垂直形 (IVG-600G)
定格公称電圧	標準波：600kV さい断波 単極振動波：300kV±300kV 両極振動波：±300kV
合成静電容量	0.0833μF (1μF/12台)
充電電圧	±50kV
最大充電エネルギー	15kJ

(注) 将来800kVに増設可

5.2 インパルス電圧発生装置の構成と発生回路

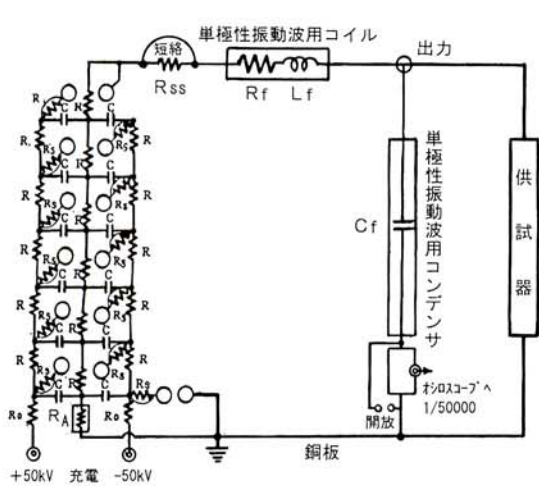
(1) 装置の構成

600kVインパルス電圧発生装置は、表2に示すように、充電・放電コンデンサを主体としたインパルス電圧発生器、これの充電器、振動電圧波用コイル、振動電圧波用コンデンサ兼出力電圧波形調整器、出力電圧計測用高電圧分圧器並びに発生器、充電器などを駆動制御する自動制御装置などで構成している。これらのほかに、さい断電圧波ギャップ装置などを付帯している。

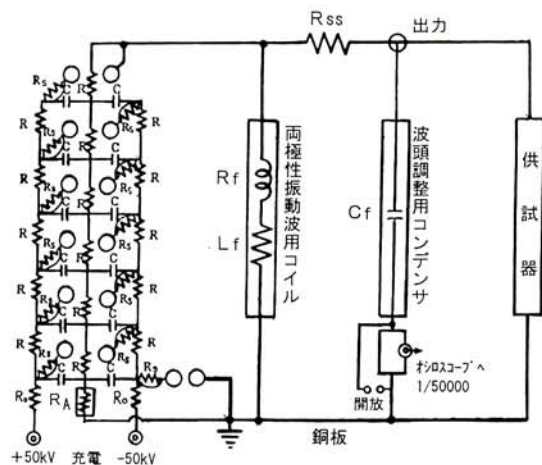
表2 / インパルス電圧発生装置の構成

Tab.2/Composition of impulse voltage generator

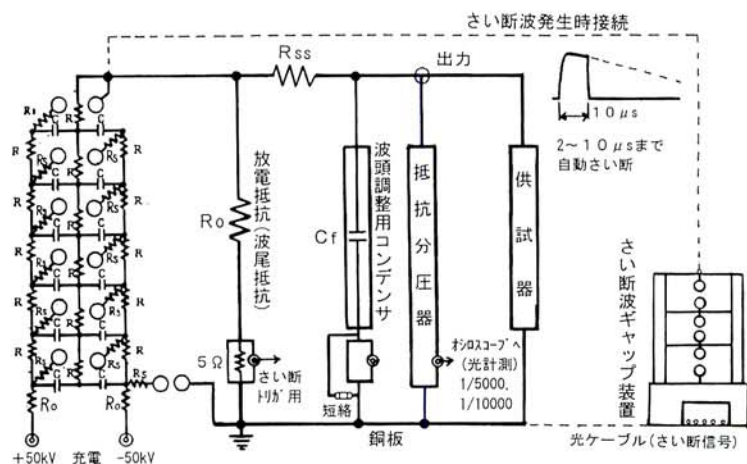
波形の種類	標準雷インパルス波、さい断波	単極性減衰振動波	両極性減衰振動波				
公称電圧	600kV	300kV±300kV	±300kV				
利用率	80% (1.2/50μs時)	90%	90%				
インパルス電圧発生器 単位コンデンサ	6段 12台 定格電圧：50kV 試験容量：75kV 静電容量C：1μF	同 左	同 左				
充電抵抗	Rc：150kΩ 2本 R：30kΩ 16本	同 左	同 左				
放電球ギャップ短絡器	電動式 (φ80,14個)	同 左	同 左				
制動抵抗	Rs：8Ω 12本	Rs：短絡	Rs：短絡				
放電抵抗	Ro：680Ω (1.2/50μs時)	Ro：開放	Ro：開放				
波頭調整用抵抗	Rss：50Ω	Rss：短絡	Rss：50Ω				
波頭調整コンデンサ	Ct：5000pF	—	Ct：5000pF				
単極性振動波用コンデンサ	—	Ct：5000pF	—				
充電器	残留電荷放電スイッチ付 DC±50kV (制御盤内)						
出力電圧 容量	2kVA	同 左	同 左				
充電時間	20秒以内						
極性反転	極性切換スイッチ (油タンク内)						
残留電荷放電	放電スイッチ (油タンク外)						
さい断波ギャップ装置	遅延パルス発生器付属						
さい断方式	3段球ギャップ						
最大定格 ギャップ調整	480kV モータ自動駆動						
高電圧分圧器	抵抗分圧器 (15kΩ)	静電容量分圧器 (5000pF)	静電容量分圧器 (5000pF)				
最大測定電圧	640kVインパルス	300kV±300kV振動波	±300kV振動波				
分圧比	1/5000, 1/10000	1/50000	1/50000				
計測方式	光ファイバ	同軸ケーブル	同軸ケーブル				
振動波発生用コイル	なし	振動周波数 (kHz)	インダクタンス Lt (mH)	直流抵抗 Rt (Ω)	振動周波数 (kHz)	インダクタンス Lt (mH)	直流抵抗 Rt (Ω)
		7	103	250	7	6.2	15
		10	51	180	10	3.0	10
		13	30	135	13	1.8	8
		18	10	100	18	0.9	6
制御装置							
充電制御	デジタル式設定電圧まで自動充電機能 充電電流10mA~20mAの範囲で設定可能	同 左		同 左			
放電制御	モータ駆動全球機械短絡始動						
極性切換制御	正極性と負極性の自動切換						
残留電荷放電	自動放電						
さい断波制御	2~10μsで調整可能 (さい断波のみ)						



(a) 300±300kV単極性減衰振動電圧発生回路



(b) ±300kV両極性減衰振動電圧発生回路



(c) 600kV標準雷インパルス電圧発生回路

図5 / 各種インパルス電圧発生回路

Fig.5/Generating circuit of various impulse voltages

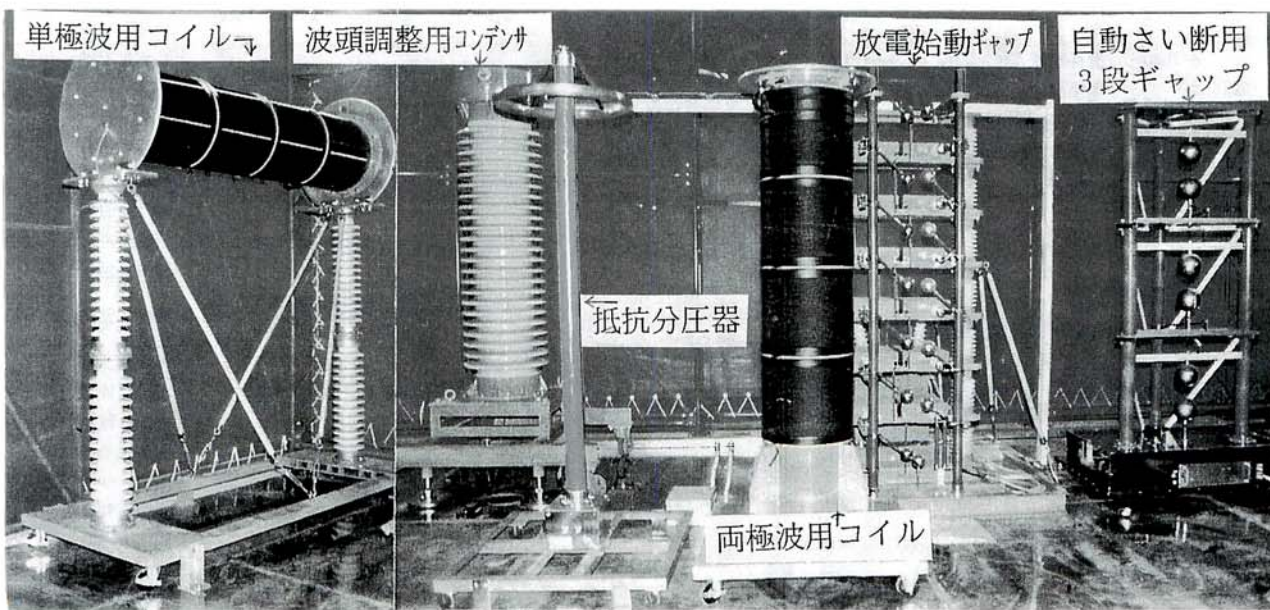


図6 / 600kVインパルス電圧発生装置全体の外観

Fig.6/External view of 600kV impulse voltage generator

(2) 発生回路

図5に示すように、充電・放電コンデンサを電源として、これに抵抗、インダクタンス、静電容量を直列接続して、充電コンデンサのギャップ放電でインパルス電圧を発生する回路である。各種波形は、回路定数の組み合わせで決まる。

出力電圧波形は、単極性減衰振動電圧波は静電容量負荷端、両極性減衰振動電圧波はインダクタンス負荷端、標準電圧波とさい断電圧波は放電抵抗負荷端からそれぞれ得られる。

図6に今回新設の600kVインパルス電圧発生装置全体の外観を示す。

6 あとがき

今回新設の600kVインパルス電圧発生装置は電圧設定、充電・放電操作において大変扱いやすい。また材料特性試験に要求される多試料、多数回印加試験を行う場合に適した装置構成である。

波形においては、従来の標準雷インパルス電圧に加え、振動性インパルス電圧に対する絶縁性能が検証できる特徴を有している。今後、これらインパルス電圧波形で変圧器巻線モデルなどを用いて絶縁破壊現象や絶縁特性などを把握し、実器の絶縁設計に反映できる。また、今回新たな両極性インパルス電圧波形で、70kV級以下変圧器の絶縁耐力検証が可能である。

最近公開された愛知出願

実用新案

公開番号	名称	考案者	共同出願人
6-2976	プラスチックマグネットローター	稲垣 裕二	
6-7840	攪拌装置	大嶋 昭彦	
6-8473	衛生洗浄装置における熱交換器の水抜き構造	新美 正明 伊藤 利行	東陶機器㈱
6-11834	液添加装置付混合機	大嶋 昭彦	
6-12785	空気調和機の排水ポンプ	新美 正明	
6-25590	空気調和機用ドレンポンプ	岡田太一郎 須藤 章夫	
6-26692	シートペーパー自動供給便座	野々村勝巳	東陶機器㈱
6-29375	電動機の手動開放装置	城處 元彦	
6-30398	チューブラ電動装置	山田 智	
6-30492	空気調和機	今尾 宗博 杉野 実	
6-35594	電動シャッターの手動開放装置	宮地 昭次	
6-37592	空気調和機用のドレンポンプ	岡田太一郎 須藤 章夫	
6-41369	電動機の騒音防止装置	岡田太一郎 城處 元彦 須藤 章夫	
6-54175	電路しゃ断装置	小島 千人	

公開番号	名称	考案者	共同出願人
6-58795	便座及び便蓋の取付構造	梶田 雅也 伊藤 利行	東陶機器㈱
6-58796	便座及び便蓋の取付構造	布施三千雄 伊藤 利行	東陶機器㈱
6-64600	暖房便座のコード配線構造	梶田 雅也 林 哲也	東陶機器㈱
6-66259	電動機の延焼防止装置	高見 健二	
6-67573	室内暖房機能付き便座装置	船戸 直博 近藤 英二 辻田 昌弘	東陶機器㈱
6-74073	電動機の手動開放装置	城處 元彦	
6-77694	便座の取付け構造	布施三千雄 田辺 伸二 梶田 雅也	東陶機器㈱
6-79396	便座の取付け構造	布施三千雄 田辺 伸二 伊藤 利行	東陶機器㈱
6-80350	永久磁石付回転子	岡田太一郎	
6-82175	衛生洗浄装置の瞬間加熱式熱交換装置	新美 正明 平野 修一 大橋 正紀	東陶機器㈱
6-82176	室内暖房及び消臭機能付便座装置	小島 洋一 友廣 敦志	東陶機器㈱