UDC 621.314.63 : 621.311.4 : 621.33

電気鉄道変電所用沸騰冷却シリコン整流器

田中 滋夫(たなか しげお) 栗飯原 一雄(あいばら かずお) 向峰 清(むかいみね きよし)

1 まえがき

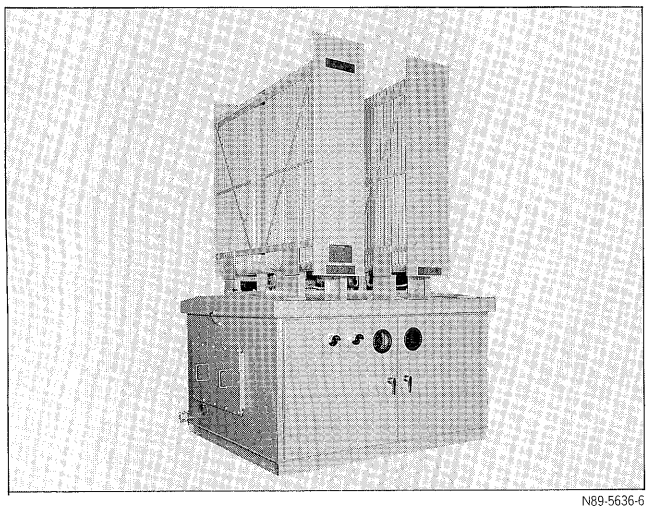
電気鉄道（以下，電鉄と略す）変電所用として昭和33年に実用化された乾式風冷シリコン整流器は，半導体素子の大容量化及び冷却技術の進歩により，油冷方式から沸騰冷却方式へと変遷し，その品質，性能が大幅に向上した。

現在の主流であるフロン沸騰冷却方式は，富士電機が昭和42年に電解用直流電源として納入したのが先駆けである。素子を密封タンク内に収納した，いわゆるユニットタンク方式は，電鉄用として重要な要件である，保守省力性，不燃性，無騒音，高効率，小形など，種々のニーズにこたえ，かつ信頼性の高い整流器として，今日多くの顧客に御採用いただいている。

フロン沸騰冷却方式は，液体の沸騰・気化と気体の凝縮液化時の熱吸収，放散サイクルを利用した合理的な冷却システムであるが，最近の世界的なフロン生産・使用規制に対応して，今般，塩素成分を含まないフッ化炭素を冷却媒体とした新形整流器を開発し，納入した。

保守省力化を実現した従来器のユニットタンク方式を踏襲しているが，これまでの製作及びフィールドでの経験に基づき，直流避雷器を内蔵するなどより完成度を高めている。以下，新形整流器の概要及び標準系列について紹介する。**図1**に外観を示す。

図1 沸騰冷却シリコン整流器の外観



N89-5636-6

2 特 長

2.1 冷 媒

従来使用していた冷媒はフロンR113であるが，これに代わり，新たに採用した冷媒は，塩素成分を含まない無毒，不燃性のフッ化炭素である。両者の特性を**表1**，蒸気圧特性を**図2**に示す。

新冷媒の選定に当たっては，以下の事項を考慮し，基礎的調査，研究を行った。すなわち，

(1) 沸騰冷却性能が優れている。
(2) 電気的絶縁性が優れている。
(3) 使用部材を劣化，腐食させない。
(4) 無毒，不燃性である。
(5) 使用範囲での圧力が低い。

である。

表1のように，フッ化炭素の蒸発潜熱，蒸発熱伝達率はフロンよりも低いため，素子の冷却体を変更して従来並み

表1 冷媒の特性

項目＼分類	フッ化炭素	フロンR113
分子式	C_8F_{16}	$C_2Cl_3F_3$
分子量	415	187
沸点（℃）	101	47.6
流動点（℃）	−65	−35
密度（g/cc at 25℃）	1.78	1.567
比熱（cal/g・℃ at 25℃）	0.25	0.218
蒸発潜熱（cal/g at 沸点）	22	35
蒸発熱伝達率（kcal/m²h ℃）	1,800～3,500	2,000～7,000
凝縮熱伝達率（kcal/m²h ℃）	200～ 400	1,500～2,000
誘電率（1kHz at 25℃）	1.86	2.41
絶縁耐力（kV at 2.54mmGap, 25℃）	41	37
毒性・可燃性	なし	なし

田中 滋夫

昭和49年入社。電気鉄道用変電・制御システムの技術企画業務に従事。現在，公共事業本部技術第二統括部交通技術第一部課長補佐。

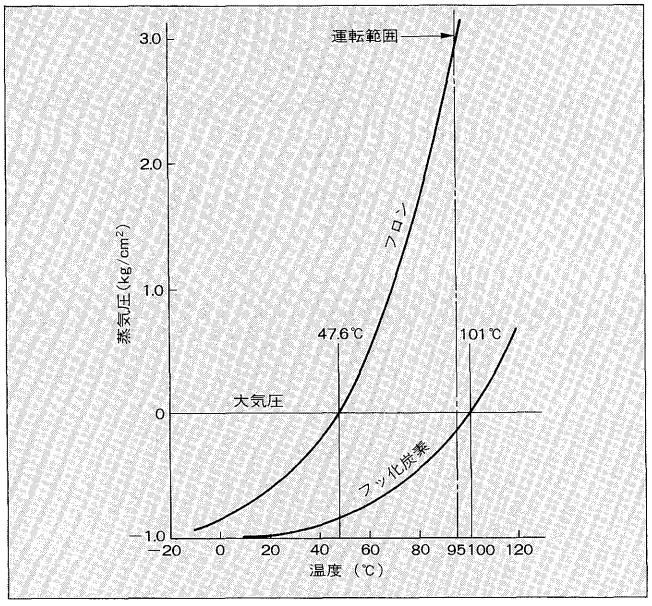
栗飯原 一雄

昭和50年入社。電気鉄道用変電・制御システムの技術企画業務に従事。現在，公共事業本部技術第二統括部交通技術第一部課長補佐。

向峰 清

昭和45年入社。大容量半導体変換装置（Sフォーマ，SFC，電気鉄道変電所用整流器など）の設計に従事。現在，千葉工場電子機器部担当課長。

図2　フッ化炭素の蒸気圧特性



の冷却性能を確保した。また，**図2**の特性から，従来のフロンの沸点は47.6℃で，軽負荷で大気圧以下，重負荷で大気圧以上と内部圧力が正負に変化するものであったが，今般選定したフッ化炭素は沸点が101℃で，重負荷の場合でも内部圧力は大気圧以下で常時負圧となる。このため，労働省令及び労働安全衛生法施行令の小形圧力容器の適用外となり，密封タンクのサイズ選定，製作方法などの自由度が増した。

2.2　特　長

フッ化炭素整流器の特長は，従来のフロン整流器と同様であるが，構造，点検部配置などを見直し，更に保守省力化を徹底追求した。

(1)　不燃性冷媒を使用した漏れのない完全密封タンク方式である。

(2)　優れた自然冷却特性のパネル形凝縮器を採用し，コンパクトである。

(3)　補機がなく無騒音，保守も不要で取扱いが簡単である。

(4)　大容量素子の使用で素子数が少なく，高信頼性である。

(5)　素子が1並列の三相ブリッジをユニットタンクに収納した密封タンク，放熱器一体の簡単で堅ろうな構造である。

(6)　複数ユニットの場合，万一の整流器不具合時にユニットタンクを切り離し，応急的に容量低減にて運転継続が可能である。

(7)　完全密封ユニットタンクに加え，主回路接続導体ほかの収納箱も防水構造で，屋内外両用，全天候形の設置場所を選ばない整流器である。

3　仕様・外形及び構造

3.1　仕様・外形

整流器の標準仕様を**表2**(a)に示す。また，標準出力・ユニット数の関係を**表2**(b)に示す。これらはいずれも従来器と同様の構成である。

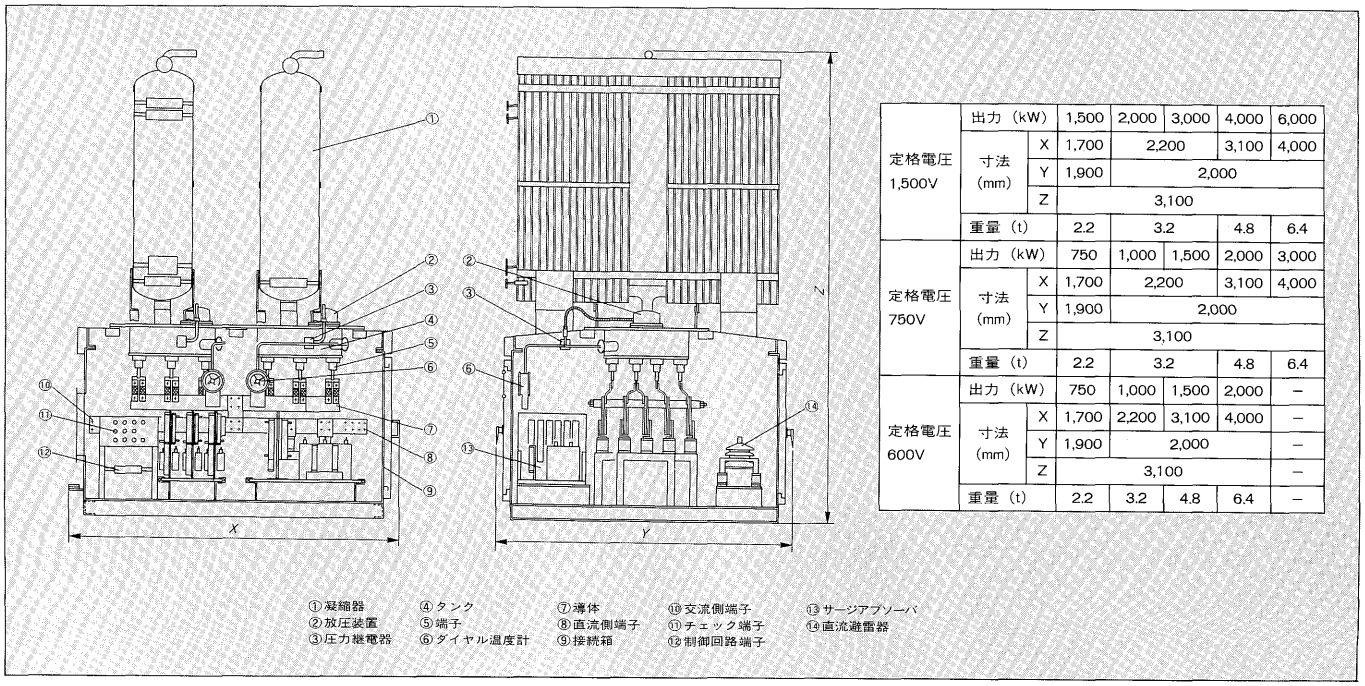
図3に整流器の構造外形寸法，重量を示す。また，据付作業，点検の容易化のため，下部接続箱を高くして，扉開口面積を大きくした。なお，**図3**の寸法は，オプションである直流避雷器を内蔵した場合で示している。実際の計画における条件によって，外形寸法の調整は可能である。

3.2　構　造

(1)　全体構成

整流器は，整流ユニット，接続箱及び保護装置から構成

図3　整流器の構造



定格電圧 1,500V	出力（kW）		1,500	2,000	3,000	4,000	6,000
	寸法（mm）	X	1,700	2,200		3,100	4,000
		Y	1,900	2,000			
		Z	3,100				
	重量（t）		2.2	3.2		4.8	6.4
定格電圧 750V	出力（kW）		750	1,000	1,500	2,000	3,000
	寸法（mm）	X	1,700	2,200		3,100	4,000
		Y	1,900	2,000			
		Z	3,100				
	重量（t）		2.2	3.2		4.8	6.4
定格電圧 600V	出力（kW）		750	1,000	1,500	2,000	−
	寸法（mm）	X	1,700	2,200	3,100	4,000	−
		Y	1,900	2,000			−
		Z	3,100				−
	重量（t）		2.2	3.2	4.8	6.4	−

表2　標準仕様・ユニット構成

(a)　標準仕様

名　　称	沸騰冷却シリコン整流器
設置場所	屋外又は屋内
冷却方式	沸騰冷却・自冷式
適用規格	JEC-178
周波数	50Hz又は60Hz
定　　格	D種又はE種
結線方式	三相ブリッジ（六相整流）
使用素子	形式：ERR03-30
素子故障対策	直列方向予備素子1個組込み
電圧変動率	6.0～8.0%

(b)　整流ユニット構成

定格電圧 1,500V	出力（kW）	1,500	2,000	3,000	4,000	6,000
	ユニット数	1	2	2	3	4
定格電圧 750V	出力（kW）	750	1,000	1,500	2,000	3,000
	ユニット数	1	2	2	3	4
定格電圧 600V	出力（kW）	750	1,000	1,500	2,000	—
	ユニット数	1	2	3	4	—

されている。

接続箱上部に配置された整流ユニットは，ダイオード素子を収納したタンクとパネル形凝縮器の信頼度の高い一体気密溶接構造である。タンク部は，接続箱内に収納し，外部には凝縮器と放圧装置だけを配置している。従来器と同様に外部環境に左右されにくい構造とした。整流ユニットは接続箱上部カバーを外すことにより，必要に応じて容易に着脱可能である。

接続箱は，上部の整流ユニットを支持するとともに，ユニット下部の交流・直流端子を並列に接続する導体群が収納されており，各導体の一端は外部接続用端子部となっている。更に，スナバ回路，保護装置などが収納されている。ダイヤル温度計は，前面扉に窓を設け，扉の開閉をせずに点検できる配置，構造とした。

4　保護システム

短絡，地絡，あるいは過電圧，過電流などの外部事故に対する保護と，万一の整流器自体の内部事故に対して，**図4**(a)，(b)に示す保護システムを標準としている。事故時の保護及び協調は従来器と変わらない。**図4**(c)に過電流に対する保護協調を示す。

万一の整流ユニットの気密異常は，巡視点検時にユニットごとに設けたダイヤル温度計の温度アンバランスで発見・処置される以外に，空気の侵入増加に従い冷却性能が低下し，冷媒温度がダイヤル温度計で設定されている運転許容最高温度に達すると整流器の運転を停止するようにした。整流ユニットの内部圧力が大気圧になるような状態を考えると，**図2**に示したように，101℃で沸騰を開始することになり，温度計によって気密異常を確実に検出できることが分かる。

図4　標準保護システム

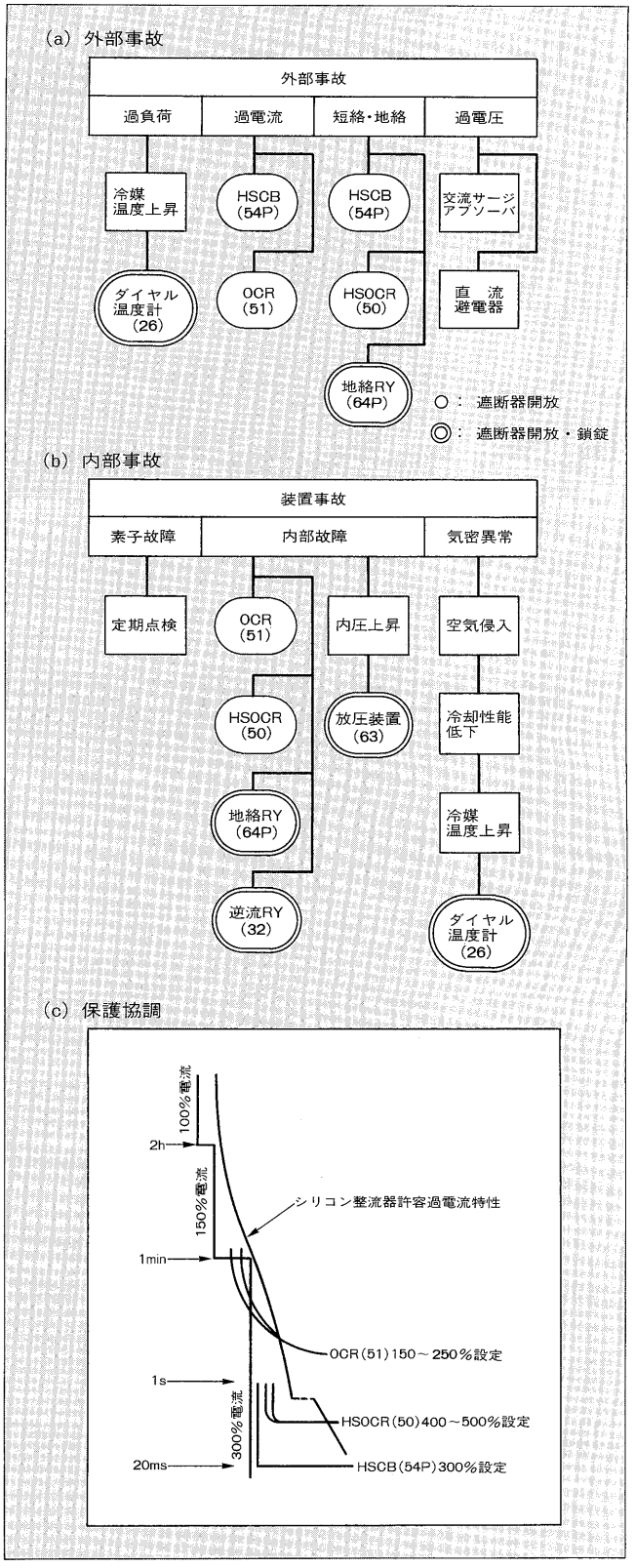


表3　付属品

名　　称	数　量	用　途	接点の有無
ダイヤル温度計	ユニットごと	冷媒温度検出用	警報・遮断用
放圧装置	ユニットごと	異常内圧解放用	警報・遮断用
交流側サージアブソーバ	一組	交流側からの異常電圧吸収用	—
運転表示灯	一組	運転状態表示用	—

また，内部事故のバックアップとして放圧装置を設けており，整流器の破損や冷媒の飛散など被害を最小限にすることは，従来器と同様である。

5 付属品

表3に示す装置，部品を標準付属品として装備している。なお，オプションとして，直流避雷器，素子故障点検用チェッカ，バスダクト，外線接続用主回路圧縮端子，補助回路圧着端子なども用意している。

6 あとがき

実用化以来20年以上を経た沸騰冷却方式は，電鉄分野における大容量半導体素子の冷却に最適な方式として，地上設備用及び車両搭載用の変換装置の性能を十分に発揮させるための重要な役割の一端を担ってきた。

単純な冷却原理が実現した電鉄変電所用整流器の安全で高信頼性，保守省力，不燃性，小形・軽量，無騒音などの優れた特徴は，今後とも変電所の合理化に貢献できるものと考え，より高品質な整流器を目指し努力する所存である。

最後に，日常御指導いただいている顧客各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

(1) 清水一彬ほか：最近の電鉄変電所用整流器とその選択，富士時報，Vol.49，No.5，pp.237-243（1976）

技術論文社外公表一覧

標題	所属	氏名	発表機関
Field Oriented Control System for Induction Machine without Speed Sensor	富士電機総合研究所 〃 〃	中野 孝良 橋本 眞 笹川 清明	International Symposium on Power Electronics（1989-5）
Voltage-Current Characteristics of SF_6 Gas Arc	富士電機総合研究所 〃	杉山 修一 中島 昌俊	IEEE Int. Conf. on Plasma Sci.（1989-5）
Multivariable Adaptive Control System for Power Station	富士電機総合研究所	横川 純男	米・カナダ・日本 電力中央研究所合同シンポジウム（1989-5）
Development of a Large Scale Analytical Simulator for Studying Power System	富士電機総合研究所	横川 純男	
New Over-Current Protection Circuit for Smart Power Devices	松本工場 富士電機総合研究所 松本工場 〃 〃 〃	藤平 龍彦 熊谷 直樹 吉田 和彦 桜井 建弥 古畑 昌一 内田 喜之	The Electrochemical Society 1989 Spring Meeting（1989-5）
Numerical Analysis of Hydraulic Losses in Francis Turbines Comparison of Loss Distribution between Low-and High Specific Speed Units	川崎工場 〃	久保田 喬 鈴木 良治	Proceedings of International Symposium on Large Hydraulic Machinery and Associated Equipments: International Research Centre on Hydraulic Machinery(Beijing)（1989-5）

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。