2－2－3　電力設備の現状と将来計画

パキスタン国に於ける電気事業は前項にも述べた2大機関（ＷＡＰＤＡ及びＫＥＳＣ），ＰＡＥＣ（パキスタン原子力委員会）及び自家発電事業者によって構成されてる。

パキスタン国の1985年12月末の既設電力設備の概要とその将来計画は表2.4～12及び図2.4～6の通りである。

表 2.4　発電設備の推移

(MW)

Name / 年	WAPDA			KESC	合　計
	水　力	火　力	小　計	火　力	
1979/80	1,567	1,125	2,692	673	3,365
80/81	1,747	1,385	3,132	673	3,805
81/82	1,847	1,407	3,254	673	3,927
1983-3/31	2,547	1,441.4	3,988.6	673	4,661.6
82/83	2,547	1,407	3,954	810	4,764
83/84	2,547	1,407	3,954	1,020	4,974
84/85	2,897	1,442	4,339	1,138	5,477

Source: Energy Year Book 1983
WAPDA Annual Report 1984-85
KESC Annual Report 1982-6

表2.5　既設主要発電所の概要（1985年12月末現在）

（１）（水力－ＷＡＰＤＡ）

発電所名	設備容量 (MW)	発電機台数×MW	備　　考
Tarbela (1-10Unit)	1,750	10×175	No.1, No.2　1977-5 運開 No.3　1977-6 〃　No.1 ～No.4 No.4　1977-7 〃 No.5　1977-8 〃 No.6　1982-9 〃 No.7　1982-11〃 No.8　1982-12〃 No.9　1985　運開 No.10　1985　運開
Mangla (1-8 Unit)	800	8 ×100	No.1, No.2　1967-6 No.1 ～No.4 No.3, No.4 No.5, No.6　1974-4 No.7　1981-5 No.7-No.8 No.8　1981-8
Warsak (1-6 Unit)	240	6 ×40	No.1, 2, 3, 4　1960年運開 No.5, No.6　1981-1運開
Rusul	22	2 ×11	1951年　運開
Malakand	19.6	3 ×3.2 2 × 5	1938年　運開 1951年　運開
Dargai	20	4 × 5	1954年　運開
Nandipur	13.8	3 ×4.6	1963年　運開
Chichoki	13.8	3 ×4.6	1959年　運開
Shadiwal	13.5	2 ×6.75	1961年　運開
Kurram Gorhi	4	1 × 4	1958年　運開
Renala	1.1	5 ×0.22	1925年　運開

（２）（火力－ＷＡＰＤＡ・ＫＥＳＣ）

発電所名	設備容量 (MW)	発電機台数×MW	備　　考
Multan (汽力) 〃 (ガスタービン)	260 5.7	4 × 65 1 × 5.7	(WAPDA)
Guddu (汽力)	220	2 ×110 1 ×210	No.1 , No.2 (WAPDA) No.3 1980-11 運開
Faisalabad (ガスタービン) (汽力)	 200 132	 8 × 25 2 × 66	(WAPDA)
Shahdara (ガスタービン)	85	2 ×13.25 4 ×14.75	(WAPDA)
Sukkur (汽力)	50	4 ×12.5	(WAPDA)
Quetta (汽力) (ガスタービン)	15 48	*2 ×7.5 1 ×7.0, 1 ×16 1 ×25	* 石炭火力発電所 (WAPDA)
Hydrerabad (汽力) (ガスタービン)	 15 28	 2 ×7.5 1 × 5 , 1 × 8 1 ×15	(WAPDA)
Korti (ガスタービン)	130	2 ×15 4 ×25	No.3, No.4 1978/1979 運開 (WAPDA) No.5, No.6 1981-4 〃
Korangi(汽力) #1,#2 (汽力) #3,#4 (ガスタービン)	 132 250 80	 2 ×66 2 ×125 3 ×20	 1965 運開始 (KESC) #3-1970, #4-1977 運開 1978 運開
West Wharf A (ガスタービン) B (ガスタービン) B (ガスタービン)	 13 30 66	 1 ×3.0,3×5.0 2 ×15 2 ×33	 (KESC) 1956 運開 1962 運開
Dual Fuel Site Gas Turbine	15 100	10×1.5 5 ×20	1960 運開 (KESC) 1979 運開 (KESC)

表 2.6 発電設備計画

運開年月	容量(MW)	発　電　所　名
1986／1	75	Guddu (ガスタービン# 1)
1986／2	75	〃 (ガスタービン# 2)
1987／10	210	〃 (汽力# 4)
1986／3	75	〃 (ガスタービン# 3)
1986／4	75	〃 (ガスタービン# 4)
1986／11	200	Kot Addu (ガスタービン# 1 & 3)
1987／1	200	〃 (〃 # 2 & 4)
1987／7	75	Guddu コンバインサイクル (汽力 #5)
1987／10	75	〃 〃 (〃 #6)
1988／4	400	Kot Addu (内燃力 #5 - 8)
1988／12	210	KESC (汽力 #D - 3)
1988／12	250	Jamshoro (Oil # 1)
1989／7	35	小水力 (# 1)
1989／8	432	Tarbela (水力 #11)
1989／9	200	Mangla (水力 #9 & 10)
1989／12	432	Tarbela (水力 #12)
1989／12	210	Jamshoro (Oil # 2)
1989／12	210	KESC (汽力 #D - 4)
1990／3	200	Kot Addu コンバインサイクル (汽力 #9 & 10)
1990／3	100	Faisalabad 〃 (汽力 #9 - 12)
1990／5	432	Tarbela (水力 #13)
1990／8	432	Tarbela (水力 #14)
1990／9	210	Multan Ext. (# 1)
1990／12	210	KESC (汽力 #D - 5)

出　典 : WAPDA ANNUAL REPORT

表 2.7 既設送配電線設備

(km)

Year	500 kV	220 kV	132 kV	66 kV	Total
1980	849	1,219	6,666	6,560	5,294
1981	849	1,224	7,054	6,845	15,972
1982	849	1,302	7,710	7,045	16,906
1983	1,287	1,302	8,777	7,168	18,534
1984	1,287	1,437	9,239	7,389	19,352
1985	1,287	1,442	9,506	7,549	22,018

表 2.8 送電線建設計画 (1986-1990)

運開年次	送電電圧	区　　間　　名
1985	220 kV	Faisalabad－Sahiwal
1985	500 kV	Faisalabad－Multan－Guddu －Karachi
1986	220 kV	Double Circuit Mardan － Peshawar
1986	220 kV	D/C Kot Addu-Multan
1987	220 kV	Dadu-Khuzdar
1988	220 kV	Third Circuit Kot Addu-Multan
1989	500 kV	Tarbela-Lahore
1990	500 kV	Ludewala-Dadukhel
1990	220 kV	Second 220kV Guddu-Sibi-Quetta
1990	500 kV	Lahore-Multan-Guddu-Jamshoro
1990	220 kV	4 th Circuit Kot Addu-Multan

出　典 : WAPDA ANNUAL REPORT

表 2.9 ＷＡＰＤＡ既設変電設備 (1985年６月30日現在)

500 kV		220 kV		132 kV		66 kV		33 kV		計	
数	MVA	数	MVA	数	MVA	数	MVA	数	MVA	数	MVA
1	900	10	3,182	240	7,379	205	3,014	1	18	457	14,493

表 2.10 年間最大電力実績および想定値

実績 (1)		想定値 (2)	
年度 (FY)	最大電力 (MW)	年度 (FY)	最大電力 (MW)
1970	948	1985	4,121
1971	1,024	1986	4,517
1972	1,148	1987	4,955
1973	1,242	1988	5,436
1974	1,396	1989	5,963
1975	1,437	1990	6,541
1976	1,620	1991	7,176
1977	1,836	1992	7,872
1978	1,972	1993	8,636
1979	2,076	1994	9,473
1980	2,473		
1981	2,846		
1982	3,163		
1983	3,295		
1984	3,791		

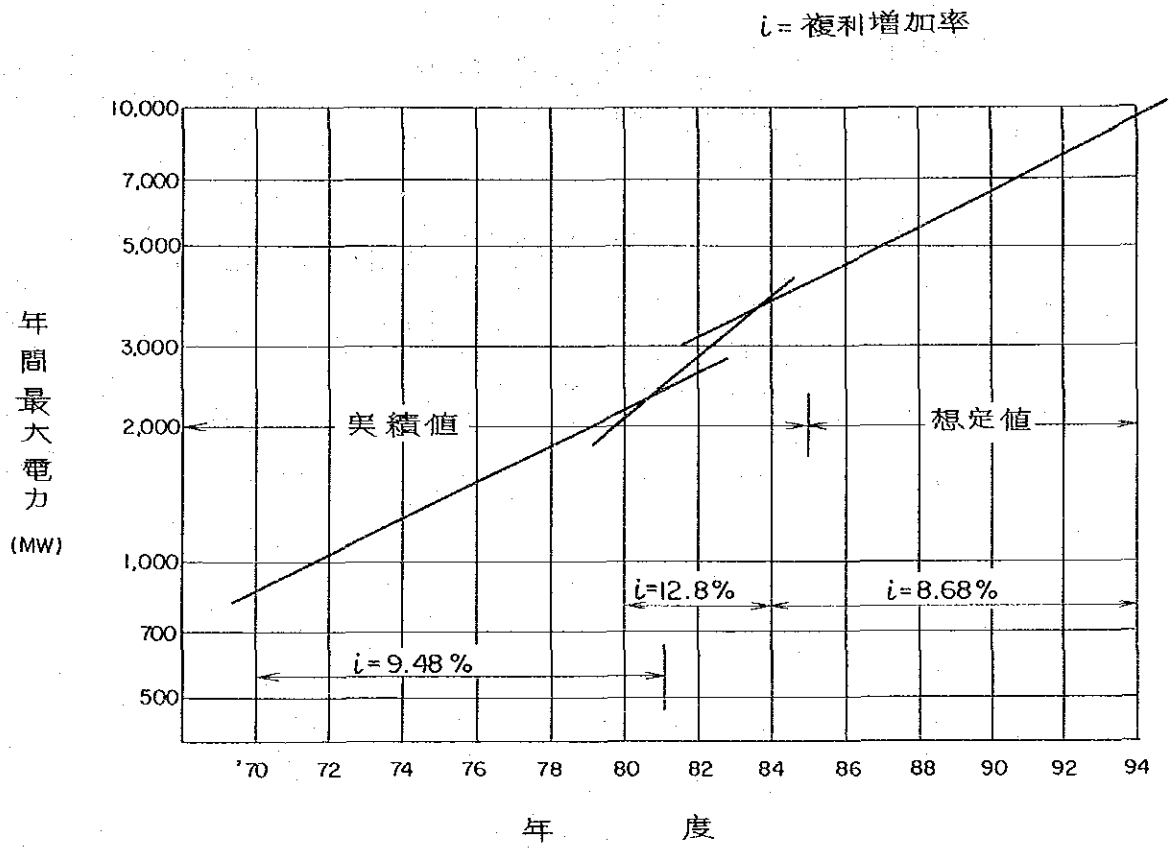
出　典：(1) Power System Statistics (Tenth issue) WAPDA

(2) WAPDA Annual Report 1984～95

注）年間最大電力は会計年度間の最大電力（送電端）

例：1984年度3791は1984年7月1日から，1985年6月30日までの間の最大値

図2.4　年間最大電力実績および想定値



出典；実績値；Power System Stati tics (tenth issue)
想定値；WAPDA Annual Report 1984～85

表 2.11　発電・販売電力量実績の推移

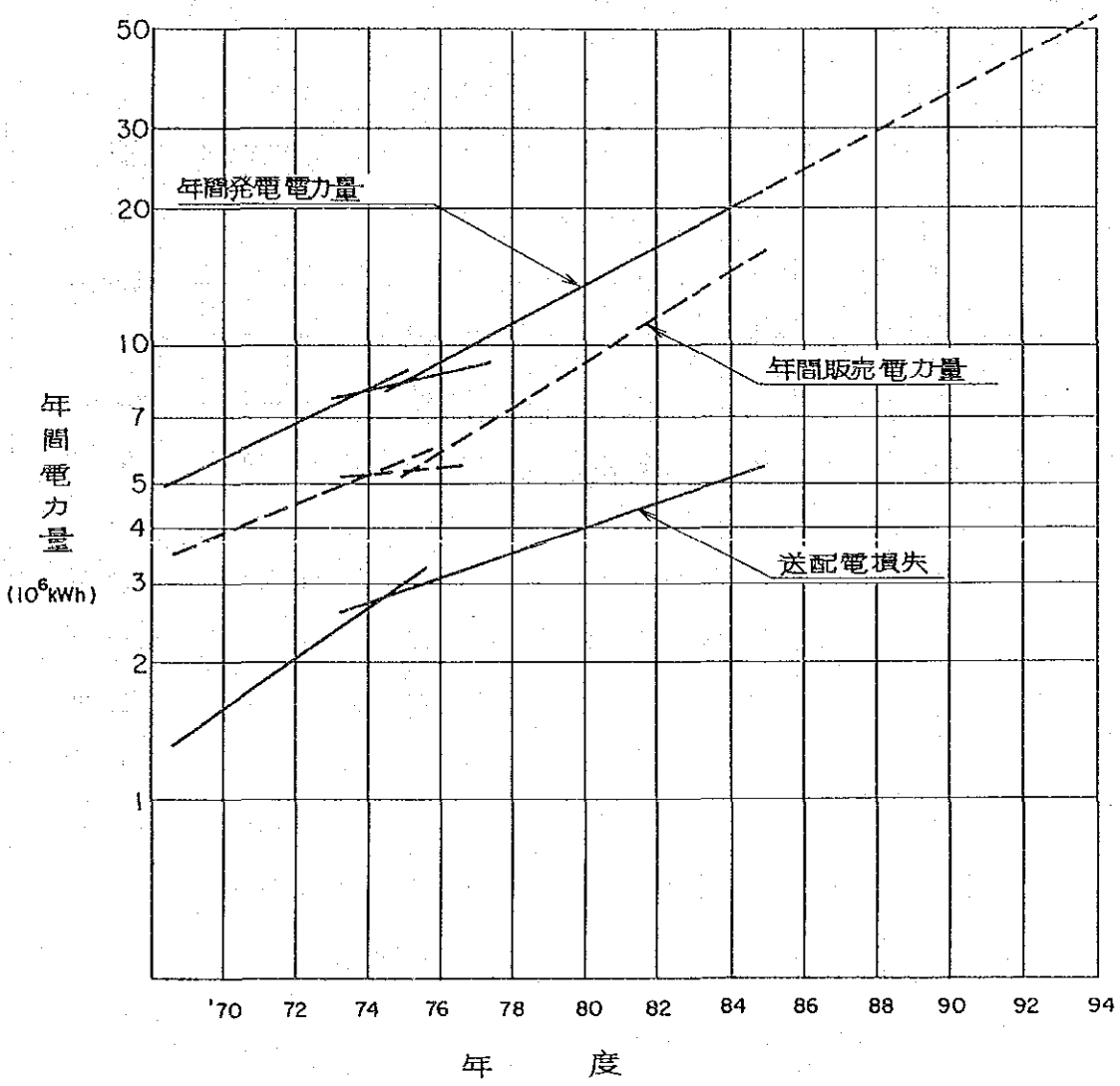
年　度 (FY)	発電電力量 (Gwh)	所　内 (Gwh)	送電端電力量 (Gwh)	販売電力量 (Gwh)	送配電損失 (Gwh)	送配電損失率 (%)
69	5,162	179	4,983	3,600	1,383	27.75
70	5,740	219	5,521	3,966	1,555	28.17
71	6,029	174	5,855	4,137	1,718	29.34
72	6,836	183	6,653	4,599	2,054	30.87
73	7,179	218	6,961	4,742	2,219	31.88
74	8,041	184	7,857	5,212	2,645	33.66
75	8,276	222	8,054	5,315	2,739	34.01
76	8,734	258	8,476	5,452	3,024	35.68
77	10,089	221	9,868	6,490	3,378	34.23
78	10,609	203	10,396	6,981	3,415	32.85
79	12,124	269	11,855	8,160	3,695	31.17
80	13,206	344	11,862	9,068	3,794	29.50
81	14,768	390	14,378	10,288	4,090	28.45
82	16,492	399	16,093	11,587	4,506	28.00
83	18,052	400	17,652	12,762	4,890	27.70
84	18,777	404	18,372	13,756	4,616	25.13

出　典：Power System Statistics, Planning Department Power Wing 10th issue

注）年度は会計年度（FY）を示す。

例：69FYは69年7月から70年6月まで

図2.5　年間発電電力量,販売電力量の推移



出典；Power System Statistics (tenth issue)；WAPDA

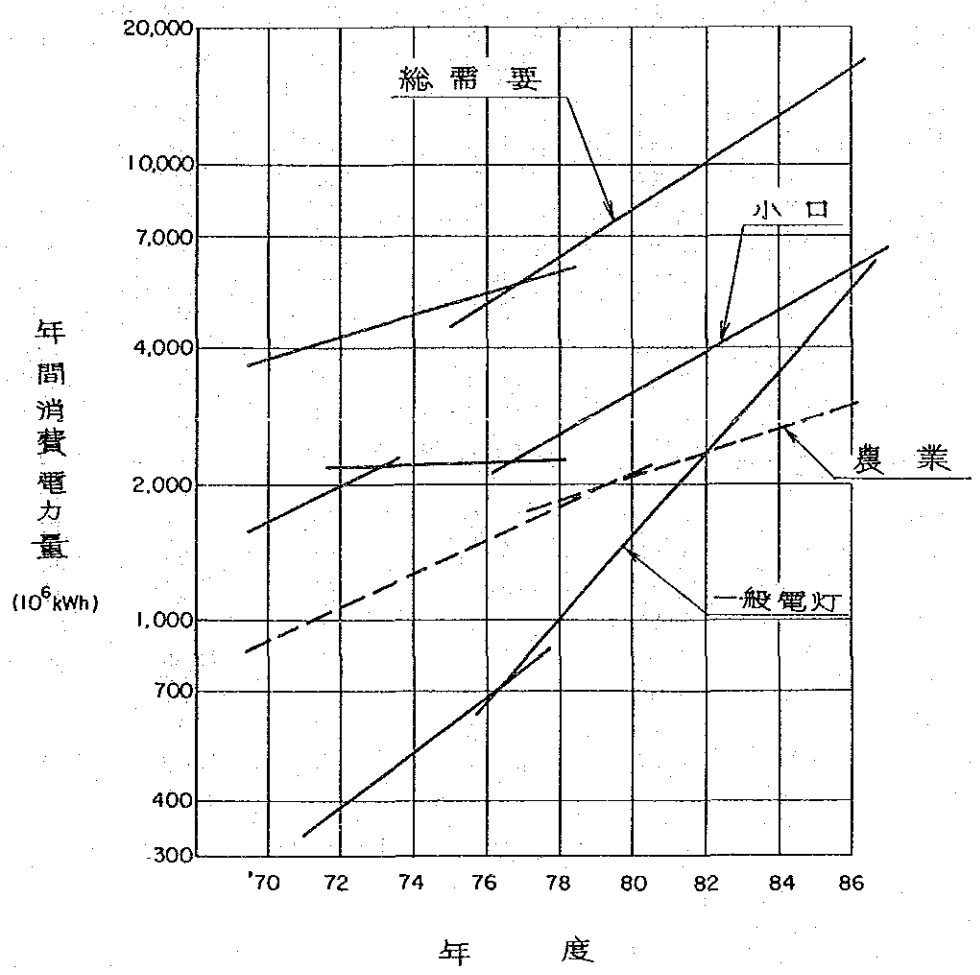
表 2.12 業種別電力消費量

(Million kWh)

Year	Domestic	Commer-cial	Indust-rial	Agricultu-ral	Public lighting	Bulk Supply	Traction	Total
1959-60	81	18	390	67	5	42	-	603
1960-61	96	23	451	102	8	66	-	746
1961-62	126	28	505	178	10	82	-	929
1962-63	143	36	634	307	13	91	-	1224
1963-64	166	47	751	449	16	132	-	1561
1964-65	196	55	902	424	17	228	-	1822
1965-66	213	71	1041	481	17	266	-	2089
1966-67	232	72	1095	380	12	297	-	2097
1967-68	288	89	1242	502	27	338	-	2486
1968-69	308	93	1361	752	16	409	-	2939
1969-70	367	124	1646	956	20	487	*	3600
1970-71	388	146	1755	1072	22	583	*	3966
1971-72	392	142	2109	997	19	478	*	4137
1972-73	454	159	2222	1170	22	572	*	4599
1973-74	516	175	2251	1131	19	608	42	4742
1974-75	566	184	2244	1531	20	604	63	5212
1975-76	678	222	2261	1386	26	697	45	5315
1976-77	780	246	2295	1400	29	659	43	5452
1977-78	1004	305	1596	1717	42	784	42	6490
1978-79	1240	336	2770	1666	70	856	43	6981
1979-80	1564	389	3154	2056	50	901	46	8160
1980-81	1858	445	3482	2125	58	1056	44	9068
1981-82	2408	574	3960	2357	75	872	42	10288
1982-83	2866	634	4417	2546	78	1002	44	11587
1983-84	4370	739	4708	2663	75	1069	38	12762
1984-85	3888	796	5061	2782	77	1115	37	13756

* Separate figures not available

図2.6　業種別販売電力量実績



2－2－4　電力機器メーカーの現状と将来計画

現在，パキスタンでは，電線，電柱，碍子，配電用変圧器，閉鎖配電盤などの配電用資機材は，そのほとんどが国内で生産されている。しかし，66kV以上の変電機器は132kV　13MVAの変圧器が，ごく一部のメーカーにより生産されているだけで，遮断器，断路器等の開閉装置は，すべて輸入に頼っている。

近年，同国政府は66，132kV級変電機器の国産化を計画した。同国電力機器メーカーは，この方針に従って，132 kV遮断器（SF6）についてはユーゴスラビアの企業と，また66，132 kV断路器については，フランス及びオランダの企業とそれぞれジョイントベンチャー（ＪＶ）を設立し，近く生産を開始する予定である。

また，新聞報道によれば，同国 Heavy Electrical Complex は，中国の中国機械設備進出口総公司（China Material Machinery and Equipment Import and Export Corporation）の技術・資金援助により近く電力用変圧器の製作を開始する旨を発表した。[1] これによれば，1988年または89年より年間 148台（約2885MVA)の電力用変圧器（66kV，132kV/ 11.5kV）を国産化する計画である。

注[1] Economic and Business Review of Dawn Dated Nov.18.1985

表 2.13　国産可能な電力設備用機器

品　目	仕　様	会　社　名
1　変　圧　器		
電力用	33，66，132kV/ 11.5kV，13MVA まで	Siemens
	2 MVA まで	PEL
配電用	WAPDA 標準品	5社
2　支　持　物		
鉄塔，鉄構	220 kVまで	PECO
	132 kVまで	HMC
コンクリート ポール	11 kV，132kV	WAPDA 系列会社
3　電　線		
制御ケーブル		4社
電線ケーブル	1000V 以下	8社
硬アルミより線	WAPDA 標準品	5社
鋼心アルミより線	〃	〃
4　碍子		
低圧・高圧	WAPDA 標準品	EMCO
懸垂碍子	〃	〃

品　　目	仕　　様	会　社　名
5　配電盤開閉装置		
遮断器	SF6 CB, 132kV 用	PSL(JV) (2)
断路器	132 kV, 66kV用	Pak Electron (JV) (3)
		Salo Dynamic (JV) (4)
計器用変流器	11 kVまで	Jhonson & Philips
11kV閉鎖配電盤	11 kV配電線用, CB付	5社
積算電力計		4社
6　継　電　器		5社
制御用 補　助		
7　蓄　電　池		Chloride Pak
鉛蓄電池 充電装置		

出典：質問状より要約

注[2] Energoinvest Yugoslavia and Pakistan Switch Gear Ltd. (PLS)
注[3] Merlin Gerin France and Pak Electron Ltd.
注[4] Hapom BV Holland and Solodynamic Corp.

2－2－5　既設試験施設の現状

パキスタン国内の電気事業者，電力機器メーカー並びに工科大学などの既設試験設備の概要は次の通りである。

（1）WAPDA 試験所

ラホールの西約 140km Faisalabad 市内にあり，アメリカの援助で1969年に完成した。試験設備は最高電圧80kVの試験用変圧器とその他必要な測定器具があるだけで主として配電用碍子，金具等の電気的，機械的，化学的試験をＷＡＰＤＡの仕様に基づいて実施している。

本設備の利用状況は年間20,000件（約 600万円）である。

本ラボラトリーにある試験装置及び器具は次の通りである。

(a)　リレーテスト装置

(b)　ＷＨメーター試験装置

(c)　計器用変成器試験装置

(d) 最大需要電力量計

(e) 11kV 耐圧試験装置

(f) 油テスター

(g) 圧力計較正装置

(h) ゴム手袋 耐電圧セット 30kV

(i) 絶縁棒試験装置

(j) 交流試験装置 80kV

(k) 圧縮テスト装置

(l) 硬度測定器

(2) ラホール工科大学の設備 (University of Engineering and Technology LAHORE)

ラホール工科大学は，1926年に設立されたラホール市最大の大学であり，学生の数は電気工学部だけでおよそ 1,000人を擁しており，全体では 3,000人の規模である。

大学にある試験設備としては，高電圧試験設備があり，今現在では国内で製造されている電力用機器に対するインパルス試験は当大学で全て実施されている。設備容量としては 500kVのインパルス発生装置(150kVAの変圧器，その他の付属設備）を有している。

残念なことに本設備は20年前に据付けられたもので既に絶縁物の劣化がはなはだしくて現在の実力としては 300kV以下の試験しか出来ないのが事実である。

当設備の利用情況は学生の実験等も含めて1日平均2～3件程度実施している。今後増々国内生産が活発になるのにこの設備ではとても対応出来ない。

(3) 電気メーカーの試験設備

パキスタン国の電気メーカーは，ラホール及びカラチ市を中心に Climax Engineering Co.Ltd., Faizi Industries Ltd., Samco Industries Ltd., Pak Electron Ltd., Transpak Electro Cable Industries Ltd., Jhonson & Phillips Ltd., Siemens Pakistan Engineering Co., Ltd., AEG TelefunkenPakistan Ltd., 等大小約10のメーカーがある。

この内，調査団は Transpak Ltd., PEL (ラホール), Siemens, J & P (カラチ) の各電力機器メーカーが独自で所有している試験設備を調査した。この結果各メーカーとも製作後ルーティンテストとして各製品の規定電圧を印加する程度

の試験用変圧器と各種の測定器を保有するのみで，インパルス試験はラホール大学へ，短絡試験はＷＡＰＤＡの指導のもとオランダの KEMA 試験所に輸送して試験を行っているような現状である。

２－２－６　電力事業の問題点

（１）電力使用制限（Load Shedding）

パキスタンの電気事業者が保有している発電設備は，前述したように全発電設備5,477 MWに対し最大需要電力は4,616MW であるので，19％の予備力を保有することになり，たとえ大容量発電機の事故停止或いは定期点検のための停止時でも充分需要家に安定した電力を供給出来る筈である。然し全発電設備 5,477MWのうち，水力発電設備は2,897MW （53％）であり，この水力発電設備は冬期の乾期期間には貯水池の水位が低下しその発電所のもつ最大電力を出すことが出来ないためピーク時には電力の使用を制限せざるを得ない。

本年度の電力使用制限は，昨年12月から３月まで実施され，停電時間は都市或いは地区によって異なるが，ピーク時（18時～20時頃）２～３時間，制限電力は約1,500MW であった。

（２）送配電損失の過大並びに事故停電の頻発

ＷＡＰＤＡの電力系統内における送配電損失率は年々減少してはいるものの，1984年末で26.7％と非常に大きく，そのおもな要因は，変圧器，配電線の抵抗損並びにせん用電力損（盗電）によるものである。この過大な損失は変圧器の品質向上，配電線の短縮化及び配電設備の整備によって減少させることが可能である。

又，過電圧による電気器具の故障や，国産の低品質の配電用変圧器や遮断器等の電力機器の損壊事故による停電が頻発し，国民生活の安定と産業発展に悪影響を与えている。

このようなパキスタンの電気事業がかかえる諸問題を憂慮して，ＷＡＰＤＡの総裁 Gnulam Safdar Butt 氏は去る４月８日の国民議会の席上で次のような声明を発表している。

（ａ）ＷＡＰＤＡは，1990年までに3,000MW の発電設備を増設し，現在実施している電力使用制限を解除するとともに，毎年 3,000ヵ所の村落の電化を行い，1990年には全国の電化率を90％までに引き上げる。

（ｂ）全国の配電設備の大々的な改修工事を実施するとともに，せん用電力のチェック機構を強化する。

このような計画を推進するためには，電力機器の改良，開発が不可欠であるが，高電圧，短絡試験研究所を製品開発研究や設計等に活用すれば，上記のような問題点の解消にも多大に貢献出来る。

第３章　計画の内容

第3章　計画の内容

3－1　計画の目的

パキスタン国は，1983年から始まった第6次国家開発5ヵ年計画において，エネルギー開発に重点を置き，公共投資の38％を振り向けて，工業開発に不可欠な電力供給と地域格差是正のための地方電化計画を進めている。又，国内の増え続ける電力需要に対応するために，多くの発電計画も策定されている。このような開発計画の推進に伴ってパキスタン国では今後送配電機器の急激な需要増加が予想されるため，政府は諸外国（中国，ユーゴスラビア）などの協力を得て，電力機器の国産化計画を強力に推進している。しかし，現在同国内には，これら国産の機器の性能試験を実施できる施設がないため配電システムの重要機器である変圧器や遮断器等の検査は，オランダをはじめ諸外国に依頼している。このため検査に多大の費用と手間がかかり，外貨節約の点からも問題となっている。又，これらの検査の対象が，完成品のみであることも，技術開発的視点からみて問題となっている。

一方，同国では電力系統の強化並びに電力の経済運用を図る目的で，北部の水力電源と中央部の電力消費地域及び南部の火力電源を 500kVの超高圧送電線によって連系する計画が進められ，その一部はすでに運用されており，本年末には総ての施設が完成の予定である。然し，これらの先端的な電力設備を運用することに伴って発生する塩塵害，コロナノイズ等諸々の問題が発生しその対策に苦慮している。

このような状況に鑑み，パキスタン政府は，

（1）現在，海外に依存している電力機器の性能検証試験を国内で実施することによる外貨及び検査時間の節約

（2）国内電力メーカーが，試験設備を活用することによる製品の品質改善及び製造技術の育成

（3）電力機器の品質及び規格を改善することにより，効率的かつ経済的に最適な機器を供給し，パキスタンの電力技術全般のレベル・アップを図り，同国の電力事情を改善

を目的として，水・電力開発公社（ＷＡＰＤＡ）に高電圧・短絡試験研究所設立計画を策定させ，その建設につき我が国に無償資金協力を要請した。

3－2　要請内容の検討

要請内容については，事前調査団がすでに相手側と協議し確認しているが，今回あらためて細部についての協議を行い，設備概要について再検討を行なった。

（１）施設の機能

(a)　高電圧試験

（ｉ）500kV碍子の人工汚損試験が可能であること。

（ii）将来国産される電力機器の絶縁特性試験が可能であること。

(b)　短絡試験

（ｉ）配電用機器の電気的性能試験が可能であること。

（ii）近い将来生産される132kVしゃ断器の合成試験が可能であること。

（２）管理棟建物（Administration Office）

前回の事前調査の協議では，本試験所のための管理棟はパキスタン側が建設することになっていたが，今回の協議で先方は日本側が建設する短絡試験のための監視測定用の建物（約 150㎡）を含めた管理棟の建設を日本側に要請してきた。

このパキスタン側の強い要請に対し，調査団は本プロジェクトの完成後，もしパキスタン側が行うべき管理棟が何らかの理由で建設されなかった場合，本試験設備が充分な機能を発揮することができなくなることを考慮し，この要請を受入れることにした。

（３）試験設備

(a)　短絡発電機の容量

遮断器（245kV，40kA）の遮断試験を行うための短絡発電機の容量について，調査団は 1,500MVA（瞬時）で充分であることを説明したが，先方側は1,500MVA（３サイクル時）が必要であると主張した。

短絡発電機の容量は遮断器の型式試験の試験項目によって左右されるものであるので，帰国後先方から提出された試験項目を検討し1,500MVA（瞬時）とした。

(b)　コンピューター

コンピューターの容量について今回再度先方から問合わせがあったが，本試験所で実施する試験データーの測定・解析には，事前調査団が提案をした小容量コンピューターで充分であることを説明し，先方の了解を得た。

性能試験を行なう場合，過渡的に変化する電圧，電流及び各種現象を正確に測定

することはきわめて重要である。従って，本試験所の場合は短絡試験，高圧試験それぞれに各1台の小容量コンピューターを使用することとした。

(c) 合成試験設備

145kV 20kAのガス遮断器の合成短絡試験を実施出来るものとし，屋外型とする。パキスタンでは上記遮断器が外国のライセンスと資金供与により1988年に完成する計画であり，このための検証試験設備が必要である。

将来は 245kVの遮断器を製作する計画もあるので，試験設備を拡充することを考慮した配置とする。

(d) 交流電圧試験設備

220kV級変圧器，遮断器等の交流耐電圧試験，注水交流耐電圧試験及び交流電圧破壊試験等を実施するため単相，500kV の試験用変圧器を設置する。なお今後国産化が予定されている，220kV 75MVA級変圧器の誘導試験を実施するため単相誘導電機を設置する。

(e) インパルス電圧試験装置

220kV級機器および碍子連等の雷インパルス電圧試験を行うため 1,800kVインパルス電圧発生器を設置する。なお高電圧ホールを省略するためインパルス電圧発生器は屋外形を採用するものとした。

(f) 碍子連の人工汚損試験

500kV級送電線碍子の人工汚損試験を行うため，大型の霧室を設置した。なおこの試験用電源は，前記(d)の試験用変圧器を使用するものとした。

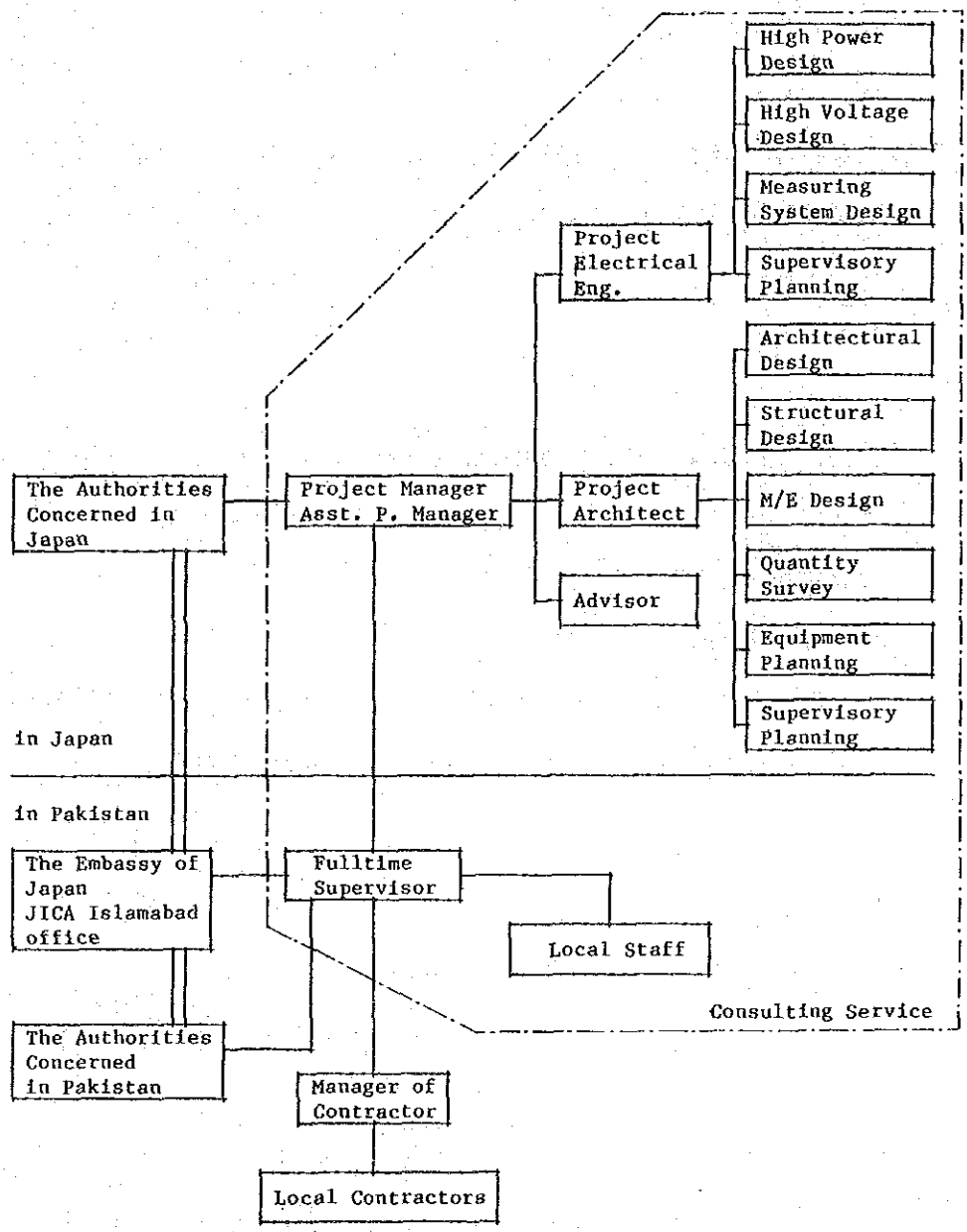
3－3　計画の概要

3－3－1　実施体制

（1）実施組織

本計画が日本の無償資金協力により実施される場合の実施組織の全体的な関係は図3.1 のように考えられる。

図 3.1　プロジェクト実施組織図



（２）パキスタン国政府の実施組織

本プロジェクトの事業実施に際しての両国政府間の折衝，ならびに必要な諸手続き等は，水利・電力省(MOWP)が，また実施設計ならびに据付工事等の業務は，水利・電力開発公社(WAPDA)の電力部が実施機関となる。

3－3－2 基本計画

電気エネルギーの全エネルギーに占める割合は，ますます増大しつつある。従って発電所で作られた電気エネルギーを効率よく，かつ安全に需要家まで輸送する送配電線は，極めて重要な役割を担う電気設備といえる。しかし，送配電線は常に塩害，雷害，風雪害等の過酷な自然環境にさらされる事が多いので設備強化対策には，十分な配慮をする必要がある。一般に送配電線で事故が生じると，事故点には定常値の十倍から時には，数十倍に達する大きな短絡電流が流れ込み大電流による熱的，機械的被害をこうむる。このため，万一発生する事故や故障に対し，その規模が波及拡大するのを防止し，災害を最小限に抑える技術や機器の開発研究が必要となる。

高電圧・短絡試験研究所は，このような技術の開発研究を行なうと同時に，すでに製品化された電力機器の性能の検証試験を実規模大で実施する施設である。試験設備は大きく下記のように分類できる。

試験設備 ┬ 短絡試験設備
　　└ 高電圧試験設備

（１）短絡試験設備

(a) 設備の目的

本設備は電力機器，工作物の短絡事故に対する性能の検証や研究開発のための設備であり，主に遮断器などの開閉保護装置の遮断特性の試験を行う。

また，短絡時の電磁力に対する機器の機械的特性，避雷器の放圧特性等の試験も行う。

(b) 設備の概要

遮断器が事故電流を遮断するときには，電極間の大電流アークが消滅した後に電極間に系統から高電圧が印加される。従って，遮断器の遮断試験では大電流と高電圧が必要となる。超高圧系統に使用される大容量遮断器の試験には，単一電源より大電流と高電圧を供給することが困難なため，大電流電源と高電圧電源に分け，これらの組合せにより等価合成試験をする方法が採用される。

本試験研究所においては，電力系統の容量が十分ではないので，大電流電源設

備として短絡発電機を採用した。

高電圧電源設備としてはコンデンサバンクが用いられる。

試験設備の運用に際しては，多様な試験条件に対応して回路構成やデータ収集，解析が繁雑になっていることから，最近は計算機による自動化が進められる傾向にある。

（２）高電圧試験設備

(a) 設備目的

本設備は電力機器や工作物の高電圧における性能の検証及び研究開発のための設備である。

(b) 設備の概要

本設備は，インパルス試験，交流加圧試験，誘導試験，汚損試験などを実施するものとして計画され，試験設備は霧屋，インパルス発生器，交流高電圧設備及び汚損試験設備から構成される。

霧屋は，コロナ測定時に外部雑音を減衰させるため，一般に電磁シールド構造が採用される。インパルス発生器には屋内形があるが，今回は建設費を節減するために屋外型を採用した。

（３）効果

高電圧・短絡試験設備は，遮断器等の送変電機器を国産化する場合，その性能検証に不可欠な設備である。

また，電力系統電圧の高電圧化に伴ない，電力機器や工作物の商用試験や研究開発は不可欠であり，これらの試験設備が自国内にない時にはオランダ，フランス，カナダ，イタリア，日本等外国の施設を利用することとなるが，この場合には輸送等に時間及び費用がかかること，あるいは試験日程の調節が容易でない等の制約条件が多く，結果的には充分な検証試験を実施出来ないことがある。また，同様な理由によって，機器の研究，開発も自由に出来ず，高電圧化・大容量化という電力系統の動きにマッチした製品の供給が不可能となる。

自国内に大電力試験設備を持っておれば，これらの制限条件はなくなり，得られる効果は著しいものがある。

（４）内外の主な類似施設

内外の主な類似施設を表3.1に示す。

表3.1 内外の主な類似施設

短絡試験設備

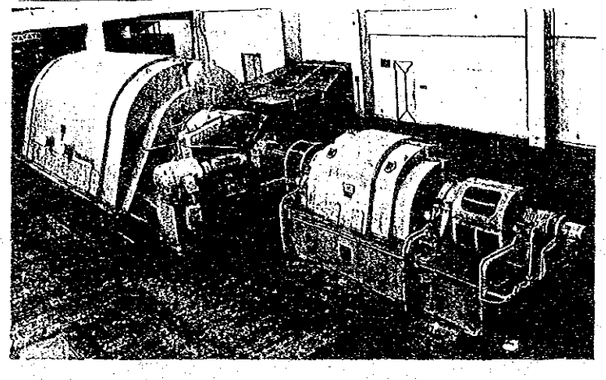
短絡試験設備例

国名	試験所	短絡容量 (MVA)
日本	電力中研	G 5,500×1 (4,100)
	東芝	G 7,400×1 (4,900), 3,600×1(2,300)
	三菱電機	G 5,500×1 (4,100), 1,400×1
	日立	G 4,500×1 (3,100), 2,500×1(1,000)
	富士電機	G (1,680×1)
	明電舎	G 1,650×1 (1,200)
オランダ	KEMA	G 2,100×4, 2,500×2, 1,100×2
フランス	EdF	G 3,250*×2, S 3,000*-420kV
	Merlin-Gerin	G 4,100×1
	Dell-Alsthom	G 2,500×2
パキスタン		G 1,500×1

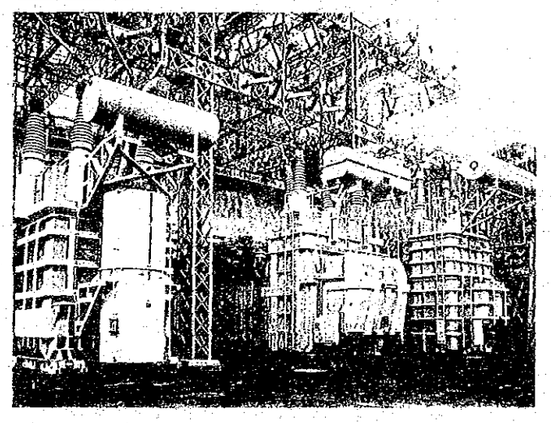
国名	試験所	短絡容量 (MVA)
スイス	BBC	G 3,750×1 (2,400)
西ドイツ	Siemens	G (2,800×1), (1,500×1)
イタリア	CESI	G 2,000×1, S 3,000-220kV
アメリカ	WH	G 3,900×1, 1,500×2
〃	GE	G 1,800×2
カナダ	IREQ	S 7,800-735kV
ソビエト	HVRC	S 8,000-400kV, 5,300-220kV 5,000-110kV
韓国	KETRI	G 6,000×1 (4,000)

G：短絡発電機、×Nの Nは台数、S：電力系統
( )：t=0.05～0.06秒後の値。( )なしはt=0の値
* 単相短絡容量　* なしは三相短絡容量。

短絡発電機



高圧短絡変圧器



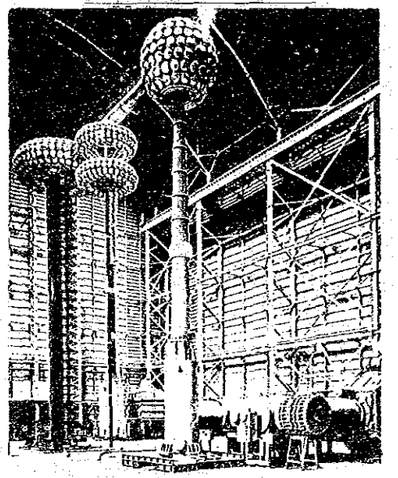
高電圧試験設備

高電圧試験設備例

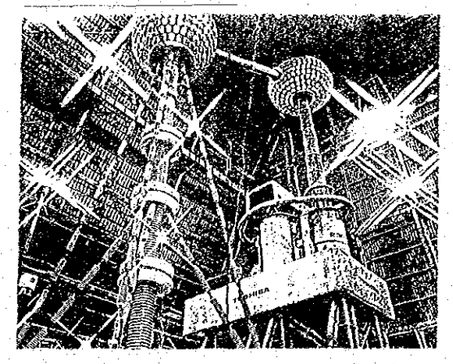
機関名	高圧ホール 縦×横×高さ (m)	インパルス電圧発生器 電圧 (MV)	エネルギー (kJ)	静電容量 (nF)	交流試験用変圧器 電圧(台数) (MV)rms	容量 (MVA)
日立	60×57×48	6.0	600	33	2.2 (1)	11
東芝	61×54×43	6.0	638	35	2.3 (2)	25
三菱電機	59×47×43	6.0	450	25	2.2 (1)	11
富士電機	50×36×41	6.4	480	23	1.0 (1)	0.4
日立電線	80×25×28	5.0	287	22	1.75(1)	7
日本碍子	41×41×30	4.2	315	36	1.65(3)	1.65
電力中研	——	12.0*	1,800	25	——	——
		10.0**	750	15	2.1	
IREQ (カナダ)	82×67×50	6.4	400	19.5	2.2 (4)	2.1
EDF (フランス)	65×65×45	6.0	450	25.	2.25(4)	1.1
VEI (ソビエト)	35×74×35	7.2	420	16.2	1.8 (3)	6.8
CEPEL(ブラジル)	46.5×29.4×27	6.4	400	19.5	1.8 (3)	1.5
パキスタン		1.8	180	—	0.5	2.0

* **：屋外懸垂形

インパルス試験設備



交流試験用変圧器

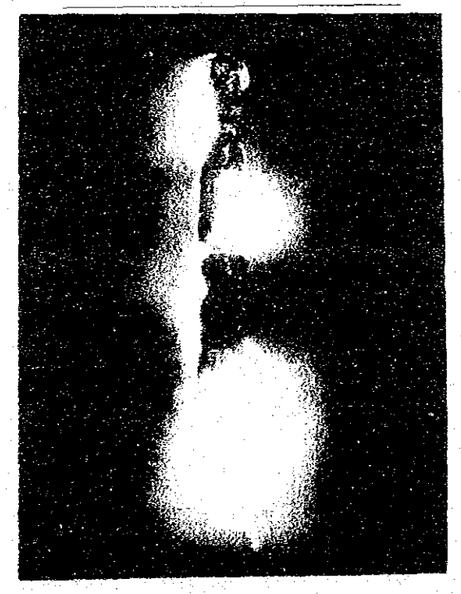


汚損試験設備例

機関	汚損試験室 縦×横×高 (m)	交流電源 電圧 (kV)	容量 (kVA)	短絡電流 (A)
電力中研	35×26×35	900	2,000	40
日本碍子*	30×25×30	1,000	5,000	40
パキスタン	15×10×13	500	2,000	40

*：サイリスタヒードバック制御

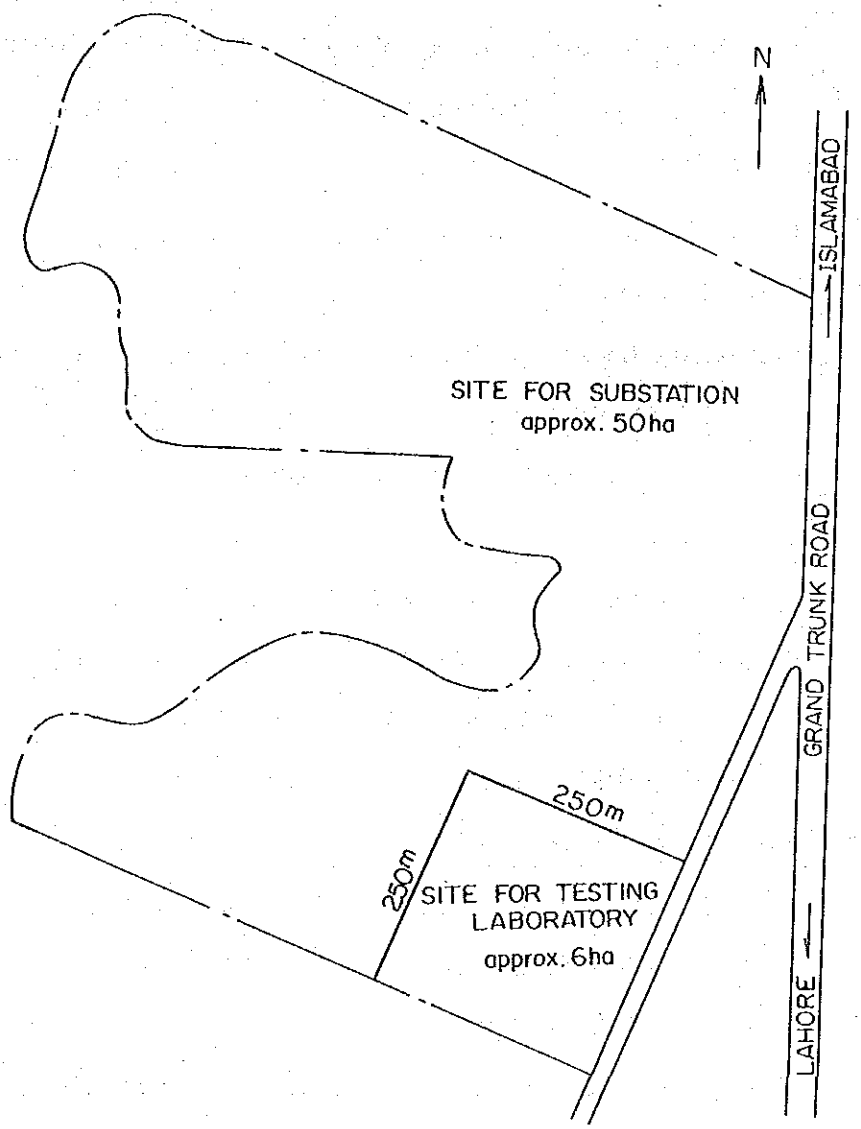
ブッシングの汚損耐電圧試験



3 - 3 - 3　建設予定地

本研究所建設予定地は，首都イスラマバードの中心より，南々東約25kmのRiwat 地区にあるＷＡＰＤＡの建設する 500 kV 変電所建設予定地の南東角にある。

図 3.2　建設予定地



この敷地が選ばれた理由は，下記の通りである。

（１）変電所建設予定地の中で，最も地盤レベルが高い。

（２）幹線道路より分岐した道路に面し，騒音・振動等の影響を受けにくく，重量物の搬入にも便利である。

（３）矩形の敷地となり，将来，北及び西方向への発展も可能である。

3－3－4　計画の概要

本調査団とパキスタン政府との間で合意された，高電圧・短絡試験研究所の施設概要は以下の通りである。

（1）短絡試験設備

配電用機器の直接短絡試験に必要な設備とし，合成試験設備を附加して更に高電圧の短絡試験が可能であるよう考慮する。

(a)　短絡発電機（駆動用電動機，励磁装置等を含む）

(b)　限流リアクトル及び切替用断路器

(c)　短絡変圧器

(d)　制御監視盤（コンピューターを含む）

（2）高電圧試験設備

送変電設備を対象とした各種高電圧試験のために必要な試験装置を設置する。

(a)　交流試験用変圧器

(b)　インパルス電圧発生器（波形調整装置を含む）

(c)　注水装置

(d)　汚損試験装置（冷水霧発生装置，試料冷却室等）

(e)　測定用機材（電圧・電流計測，シンクロスコープ，部分放電測定
雑音電界測定，球ギャップ等）

(f)　測定，制御操作盤（コンピューターを含む）

（3）受電設備（相手国側負担）

施設用電力は近くのRiwat変電所から連絡配電線によって受電する。

(a)　11kV連絡配電線，2回線

(b)　引込み，引出用遮断器(7)，母線連絡用遮断器(1)

(c)　受電用変圧器（Riwat変電所構内に増設，132／11kV，13MVA×1）

(d)　避雷器

（4）収容建物

前記の各試験設備を収容するための建物ならびに機器類の据付基礎等を建設する。

(a)　短絡発電機棟

(b)　短絡試験棟

(c) 管理棟

(d) 務中試験棟

3－3－5 管理計画・人的配置

本プロジェクト完成後の施設の運営管理はＷＡＰＤＡが行う。ＷＡＰＤＡは本施設を送変電局，あるいは企画局のいづれかの局の管轄下に所属させ，その運営を行うことを考えている。

この施設の運営要員について，ＷＡＰＤＡは次のように計画している。

所　長	：	1　名
次　長	：	2　名
技　師	：	45　名
事務職	：	19　名
熟練工	：	16　名
労務者	：	29　名
計		112　名

この運営要員計画は試験設備規模としては日本並びに諸外国に比べ若干多い。しかし，ＷＡＰＤＡは将来隣接地に本試験研究所を含めた大電力研究センターの設立構想をもっており，その要員教育を考慮した人員計画を考えている。

本施設の運営にはかなり高度の技術が必要であるので，ＷＡＰＤＡはＷＡＰＤＡの技術者を製品検査の専門家にするために日本国側の技術協力を強く要望している。

又，本プロジェクトの範囲外ではあるが，研究開発のための研修についてもＷＡＰＤＡは実施を望んでいる。

3－4　技術協力

高電圧・短絡試験施設の運営にはある程度（2年ぐらい）の経験と，かなりの技術的能力を有するスタッフが必要である。従って本計画にとって，運用要員の養成・確保は不可欠との認識からＷＡＰＤＡは要員養成の構想を次の通り考えている。

(1)　民間ベース

(a)　製作者の工場での立会い試験時の研修

日本の機器製作者の工場において実稼動している類似の試験装置の実地試験に見習い参加し，試験実施の実際業務，試験装置の運転，保守方法を研修する。

短絡試験関係技術者	1名	2ヶ月
合成試験関係技術者	1名	2ヶ月
高電圧試験関係技術者	1名	2ヶ月

(b)　現地での機器据付・調整中の研修

機器据付後の調整試験時に，コンサルタントエンジニア及びメーカー技術指導員により運営要員全員に対し，オンザジョブ・トレーニングを行う。

(2)　政府ベース

(a)　パキスタンへの日本人専門家の派遣

本施設完成後，数名の専門家の派遣を2年間程度求め運営の指導協力を得る。

短絡試験関係専門家	1名	2ヶ年
合成試験関係専門家	1名	2ヶ年
高電圧試験関係専門家	1名	2ヶ年

(b)　日本への研修員の派遣

カウンターパートの日本における技術研修を毎年2～3名，各3ヶ月，2ヶ年間実施する。

これらの技術協力が予定通り実施されることにより，今回供与される施設，機材がより一層有効に活用される。

第4章　基本設計

第４章　基本設計

４－１　設計方針

４－１－１　試験施設

技術開発を促進するための試験施設への期待は多大であるが，パキスタンの実情から判断して当面はその規模を実用的な効果を即座に期待出来る範囲に限定するものとし，設計方針として次のことを考慮することとする。

（ａ）国内で既に生産されている11kV配電用機器の電気的性能検証試験が可能であること。

（ｂ）220kVまでの電力機器の絶縁耐力試験及び 500kV碍子人工汚損試験が可能であること。

（ｃ）近い将来国産化が予想される，132kV及び220kVの電力機器，主として遮断器，変圧器の型式試験についても考慮すること。

（ｄ）安全面を含め保守の容易な設備とし，装置の簡便化を図り，運用の容易性を追求する。

（ｅ）パキスタンで最初の施設であるので，その重要性を考えて，自然環境条件に対しても充分安全な信頼性の高い設備とする。

（ｆ）機器の標準化を可能な限り実行し，製品の低コスト化と予備品の合理化を図る。

（ｇ）上記各項目を考慮のうえ，できるだけ経済的設計を行う。

４－１－２　試験施設の収納建屋

本研究所は，基本的に短絡試験設備，高電圧試験設備，受電設備（パキスタン国側負担）から構成され，それらを統括するために管理棟が置かれている。

各試験設備建屋は，機能性を重視し，簡素な意匠表現，仕上材料選定を行なう。

管理棟は，各試験設備建屋と調和を保ちながら，本研究所を統括するにふさわしい意匠表現，仕上材料選定を行ない，一部にイスラム風デザインを取り入れる。

建設材料は，材質及び供給量に問題がない限り，現地で調達できる材料を選択する。

建築設備計画にあたっては，メインテナンスの容易なシステム及び機種を選定し，ランニングコストの低廉化，省エネルギー化をはかる。

4－1－3　施設の説明

（1）短絡試験装置

大容量短絡試験設備は，15kV，1,500MVA短絡発電機を主電源とし，変圧器のタップを切り換える事により，高圧から低圧まで巾広い電圧階級の短絡試験を実施する事が可能である。

電力機器の技術開発および各種の安全対策を推進するためには，机上の検討あるいは小規模な実験だけでは充分でなく，実規模の実証的検討が必要であり本設備はこれを行ない得る性能を有する。

添付図4.2に大容量短絡設備の単線結線図を示す。

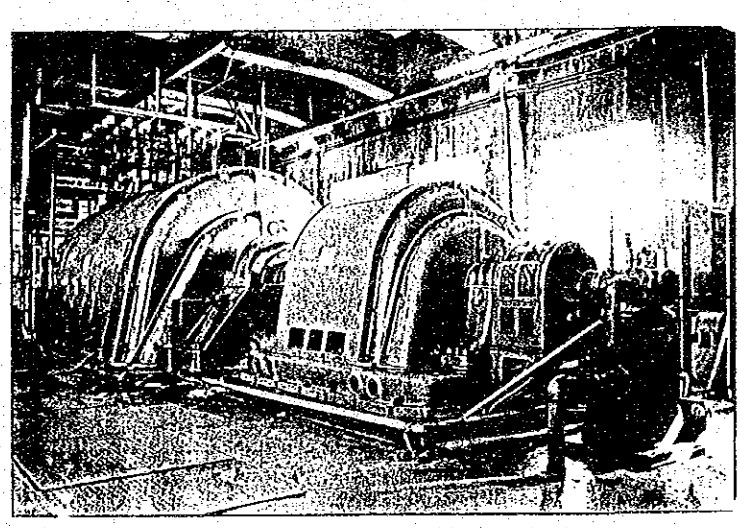
試験される機器はテストベイに設置され，接続電線により電源主回路に接続される。

添付図4.7に全体配置図を示す。

（a）短絡発電機（三相1台）

本機は，駆動用誘導電動機に直結された横軸円筒形回転界磁複式通風形同期交流発電機である。

短絡発電機は，原理的には一般の発電機と変わらないが，回転子に蓄積した回転エネルギーを短時間だけ電気エネルギーとして取り出すもので，コイル，母線類は，熱的，機械的補強がなされている。主な仕様と類似同形機の外形写真を以下に示す。



（類似施設）

短絡発電機（手前起動用電動機）

・　短絡発電機

公称短絡容量	；	3相　1,500MVA　(0サイクル後)
定格電圧	；	15kV
定格周波数	；	50Hz
冷　却	；	空冷式

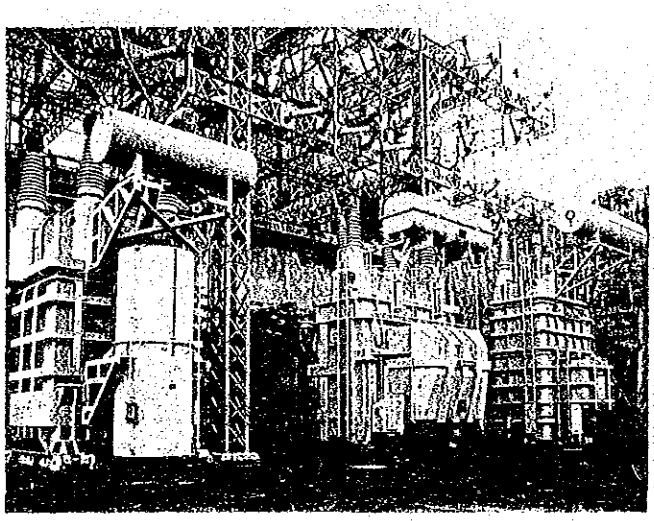
＜短絡発電機の容量の設定＞

現在パキスタンで製作されている11kV級配電機器（主として遮断器，変圧器）の短絡試験の実施を可能とするものとしては，より小容量の規模の発電機で十分であるが，将来パキスタンで製作が計画される245kV遮断器の合成試験における電流源として使用されることも考慮して前記容量とした。

（ｂ）高圧短絡変圧器（単相３台）

当設備で最も巾広く使われる変圧器であり，10kVから15kVまでの各種短絡試験の電源となる。３台の変圧器は，実施する試験内容により２次側タップ電圧および並列，直列の単相接続と△（デルタ），Ｙ（スター）の三相接続との切換えが可能で，最も適した結線で使用される。

主な仕様と類似施設の外観は以下のとおりである。



（類似施設）

高圧短絡変圧器（３台）

公称容量：50MVA　短絡容量：700MVA

定格電圧：15kV／10～15kV

（ｃ）合成短絡試験設備

送電系統の短絡容量が増大し，その保護に用いられる遮断器の実証試験を単一の短絡発電機で実施することが不可能な場合がある。

これを解決する方法として，短絡発電機からは電流を供給し，遮断後の回復電圧は別途充電されているコンデンサを利用し，この両電源を瞬時に切換えて印加する試験法であり，一般に合成短絡試験と呼ばれる。

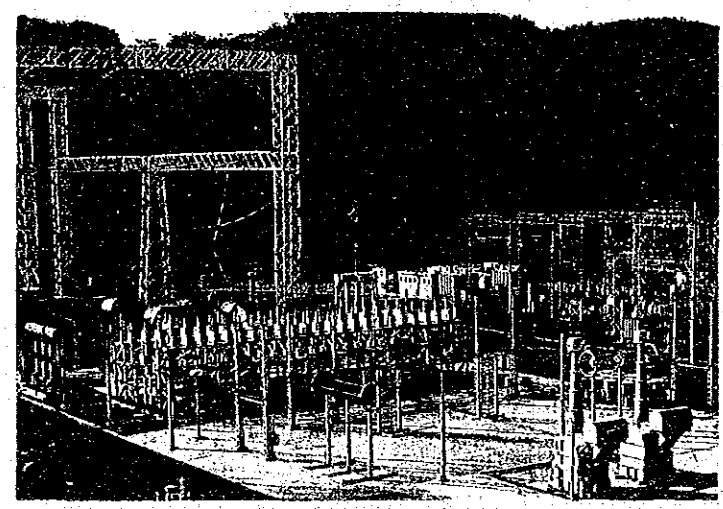
＜合成短絡試験設備の規模の設定＞

145kV，20kAのガス遮断器の合成短絡試験を実施出来るものとする。

パキスタンでは，上記遮断器が外国の技術ライセンスと資金供与により，1988年に完成する計画であり，このための検証試験設備が必要である。

将来は，245kVの遮断器を製作する計画もあるので試験設備の拡充が可能な配置とし，屋外型とした。

添付図4.5に合成試験の回路図を示す。



（類似施設）

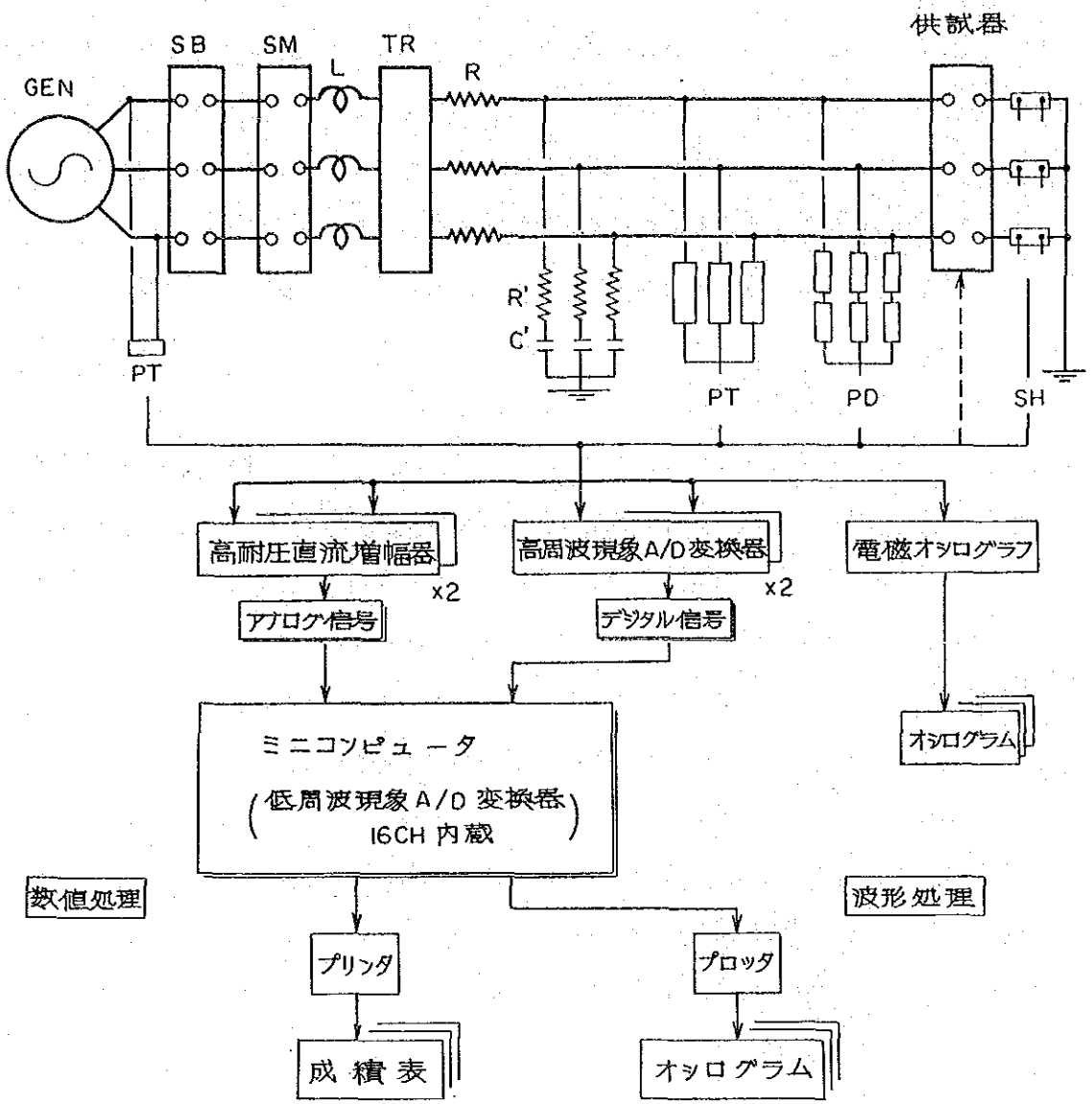
合成短絡試験設備

（ｄ）測定装置

過渡的に変化する電圧，電流および各種現象を正確に測定することは，きわめて重要である。測定の良否が試験研究そのものの成果を左右するとも言える。

このため短絡試験研究設備においては下記に示す各種測定装置を用いて広範かつ高精度な測定を行なう。

短絡試験現象測定システム



試験回路と記号

GEN	短絡発電機	R', C'	再起電圧調整用
SB	保護遮断器	PT	計器用変圧器
SM	投入器	PD	分圧器
L, R	電流調節用L, R	SH	分流器
TR	変圧器	SP	接地点

(i) ミニコンによる自動計測解析システム(1式)

多様な試験条件に対応して回路構成やデータ収録，解析が繁雑になっていることから，最近はコンピューターによる自動化が行なわれている。

○ データ処理コンピューター

従来，大電力試験技術の分野における一般的な計測においては，ブラウン管オシログラフ，オシロスコープあるいは電磁オシログラフ等のアナログ式測定器が用いられてきた。これらの測定においては，大量データの処理あるいは高精度解析を行うために多くの時間と人的労力を必要とする。

しかし，近年アナログ／ディジタル変換技術，コンピュータ技術およびオプトエレクトロニクス技術の発達に伴い，コンピュータを用いた計測システムガ導入されつつある。

本施設でも波形解析専用の高速多チャンネルデータ処理装置を採用することとする。規模は入力の要素数と処理時間によってほぼ決まるが，今回は入力要素12，処理時間5～6分として容量を決めた。

これは類似施設の中では小規模なものである。

・入力部
- 広帯域入力アンプ …… 4 CH
  - 周波数特性　DC～100kHz
- 中帯域入力アンプ …… 16CH
  - 周波数特性　DC～ 10kHz

・A・D変換器　分解能　12ビット

　　変換速度　1.5μsec

・フロッピーディスク装置

　8インチFDD×2，1Mバイト／台

・メインCPU

　ダイナミックマイクロプログラム方式

○ 高耐圧直流増巾器　　10 台

チャンネル数　1

完全フローティング，高精度，広帯域の直流増巾器高アイソレーションを必要とする短絡試験場での測定を高精度に行う。

・同相許容電圧（耐圧値）± 5,000V　DC

・周波数特性　DC～100kHz

・チャンネル数 ： 1CH

○　A／D変換器　　2台

・チャンネル数 ： 2CH

・A／D変換速度　　20ns／サンプル

・A／D変換器分解能　　10ビット

・書込み記憶長　　8,192words（4,096words／チャンネル）

・GP－IBインターフェイス（IEE－488）付

○　プリンター　　1台

・ワイヤードットマトリクス方式，24ピン

・用紙巾　　5～15インチ

○X－Yプロッター　　1台

・最大有効記録範囲　400×275mm

・用紙　　A3判

（ii）測定用補機装置

高電圧，大電流および各種の物理的変化は，そのまゝ前記の測定装置の入力とする事が出来ない。

このため，これ等を低い電圧の電気信号に変換する装置が必要となる。

変換器の特性が測定系統全体の精度を大きく左右するため，当大容量短絡試験設備には，下記に示す高精度な変成器，変換器をはじめ各種の測定装置をとりそろえている。

○　分圧器

高電圧を数十ボルト以下の低電圧に比例低減させる。分圧するインピーダンスにより各方式がある。

PT　（計器用変圧器）

CC　（コンデンサ形分圧器）

CR　（抵抗・コンデンサ分圧器）

R.R.（抵抗分圧器）

○　分流器

通過大電流に比例した電圧降下を生ずる低い抵抗体であり，時定数特性の良いかご型と同軸型を主体とする。

かご型

同軸型

一般に分流器は接地側に配置されて測定を行なうが，より正確な値を求めるため高電位点の測定が必要となり，このため光変換技術を利用した高電位分流器を使用する。

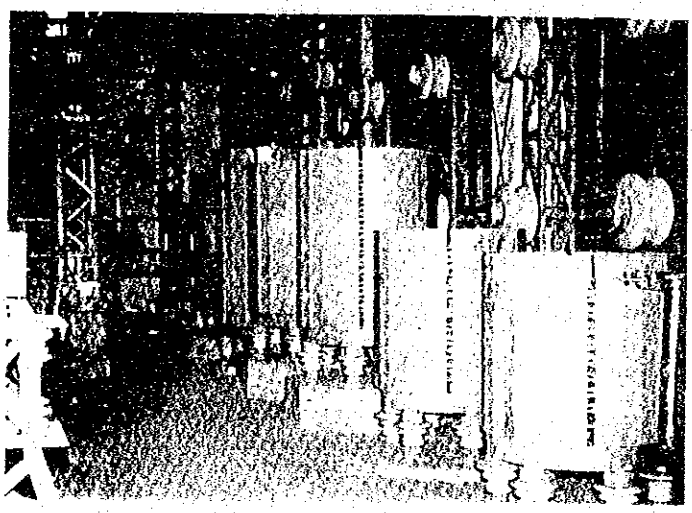
○　変流器

高圧側の電流あるいは非接地系の短絡試験のように分流器が使用できないときに用いられる。

2.5kA ～ 50kA／5A

（ｅ）限流リアクトル

短絡電流を調整するためのもので空心リアクトルである。強大な電磁力に耐えるべくコイルは強化コンクリートで固めてある。1相あたり数ユニットからなる異なる値のリアクトルを組み合わせて任意の電流を得る。



（類似施設）

限流リアクトル

（ｆ）開閉装置類

短絡発電機および変圧器等の設備で作られた電気を有効かつ安全に試験研究に利用するには，短絡回路の投入と遮断を行なう大電流開閉装置が必要となる。そのうち主なものを以下に示す。

（ｉ）保護遮断器（三相－１台）

短絡発電機の出力端子に設置され，いかなる電流も最終的に必らず遮断するバックアップ性能を有する。

室内用並列抵抗付真空遮断器

定格電圧　　；15kV

定格遮断電流；80kA

（ii）投入開閉器（３相－１台）

精度良く投入し，短絡故障を発生させるのが本投入開閉器である。各相毎に挿入されている。電流遮断性能は全くない。

定格電圧；　15kV　　定格投入電流；　200kA（波高値）

（iii）その他の開閉装置

試験内容によっては，上記の主開閉器以外に何台かの補助開閉器を直列あるいは並列に接続して，精度良い回路条件を形成する。

（２）高電圧試験装置

電力機器，工作物の高電圧に対する性能の検証や研究開発を行うための設備であって，雷などによって送配電線や機器に，万一電気事故が発生した場合の周辺機器への影響を，可能なかぎり軽減し，電力系統機器の信頼性，経済性をより一層高めるための試験を行う装置である。

（ａ）試験用変圧器

遮断器，変圧器等電力機器の絶縁耐圧試験を行なうためのもので，今回の場合は送電線碍子連の人工汚損試験にも共用される。

〈変圧器容量の設定〉

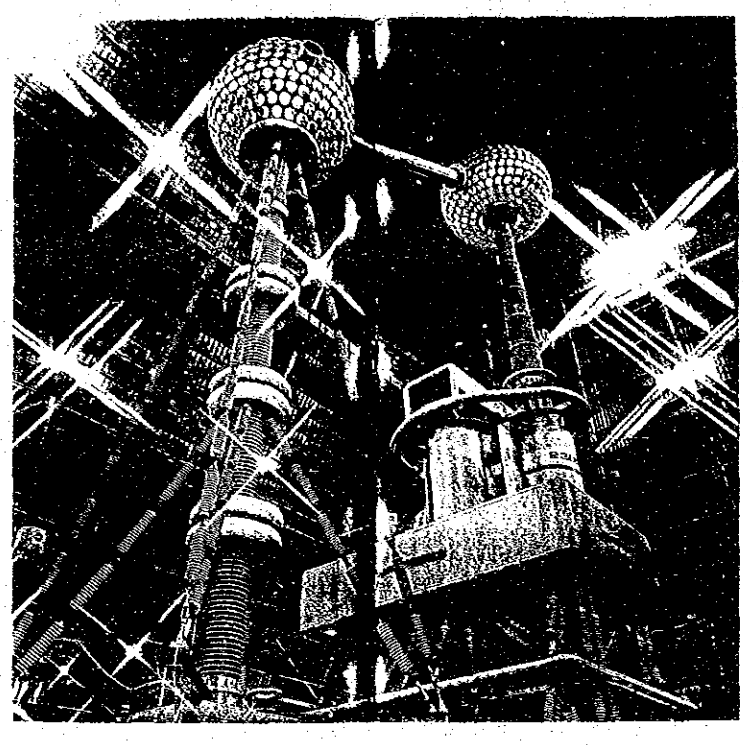
一般に試験用変圧器の耐電圧試験は定格電圧の110 ～ 120％で実施される。パキスタンでは最近500kV送電線が完成しすでに運用されている。

従って500kV級碍子の交流汚損試験と220kV変圧器の商用周波耐電圧試験ができるものとする。

定格電圧　；3.3 ～ 6.6kV／500kV

定格周波数；50Hz

短絡容量　；20MVA



（類似施設）

試験用変圧器

（ｂ）インパルス試験装置

220kVまでのがいし，変圧器（250MVA）等のインパルス試験を実施できるものとし，発生器は屋外式とする。

（定格電圧の設定）

220kV機器の定格試験電圧を，雷インパルス900kV，交流 395kVとして電圧を選定した。インパルス電圧に余裕をみたのは機器の破壊電圧を考慮したもので一般的な考え方である。

雷インパルス充電電圧　；約1,800kV

（ｃ）測定装置

（ｉ）データ処理コンピューター　　1　台

高電圧試験の場合は測定要素が１要素のみであるが，短絡試験のコンピューターよりは小容量のものとなる。

補助記憶装置

５インチ　ＦＤＤ　　1.2Ｍバイト×１

５インチ　ＨＤＤ　　20 Ｍバイト×１

インターフェース

ＲＳ－232Ｃインターフェース

ＧＰ－ＩＢインターフェース（ＩＥＥ－488）

プリンターインターフェース

ＲＡＭ（Random Access Memory）

512Ｋバイト

ＣＰＵ　　16ビット

（ii）プリンター　　1　台

ワイヤードットマトリックス，24ピン

用紙巾　　５～15インチ

（iii）Ｘ－Ｙプロッター　　1　台

最大有効記録範囲　400×275mm

用紙　　Ａ３判

（iv）ディジタルメモリー　　1　台

（ディスプレイ付）

周波数帯域巾

ＤＣ～12.5MHz－３dB以内

チャンネル選択

１CH，２CH，DUAL

Ａ／Ｄ変換速度　　20ns／サンプル

Ａ／Ｄ変換器分解能　　10ビット

書込み記憶長　　8,192words（4,096words／チャンネル）

ＧＰ－ＩＢインターフェイス（ＩＥＥ－488）付

4－2　設計条件

4－2－1　機器の設計条件

（1）自然条件

収集資料及び現場調査により調査団が設定した条件は下記の通りである。

（a）標　高　　300 m

（b）気象条件

（i）気　　温　　最高　45℃

最低　-10℃

（ii）相対湿度　　最大　100％

（iii）風　　速　　45 m/sec.

（iv）降　水　量　　年間　1,275（イスラマバード）

最大　333（7月イスラマバード）

（c）地震条件　　水平加速度　0.2 G

（d）土壌固有抵抗　　50 ～ 100オーム/m

（2）適用規格

本プロジェクトの設計にあたっては，原則として世界的に認められているＩＥＣ規格（国際電気標準会議）を適用するものとする。なお必要に応じ下記日本規格を準用する。

（a）日本工業規格（ＪＩＳ）

（b）電気学会　電気規格調査会標準規格（ＪＥＣ）

（c）日本電機工業会規格（ＪＥＭ）

（d）日本電線工業会規格（ＪＣＳ）

（e）電気設備に関する技術基準

（3）試験対象機器

（a）変圧器

（b）遮断器

（c）断路器

（d）電力フューズ

（e）電力ケーブル

（ｆ）碍　子

（ｇ）ブッシング

（ｈ）その他

（４）試験の種類

パキスタンは，ＩＥＣ国際電気標準会議にもとづいて実施する試験の種類は下記の通りである。なお図4.1に試験項目と機器の種類の関係を示す。

（ａ）形式試験

（ｉ）短絡試験

（ii）商用周波耐電圧試験

（iii）雷インパルス耐電圧試験

（iv）開閉インパルス耐電圧試験

（ｖ）短絡強度試験

（vi）短時間耐電流試験

（vii）進み電流遮断試験

（viii）近距離線路故障試験

（ix）脱調遮断試験

（ｘ）商用周波部分放電試験

（ｂ）技術研究のための試験

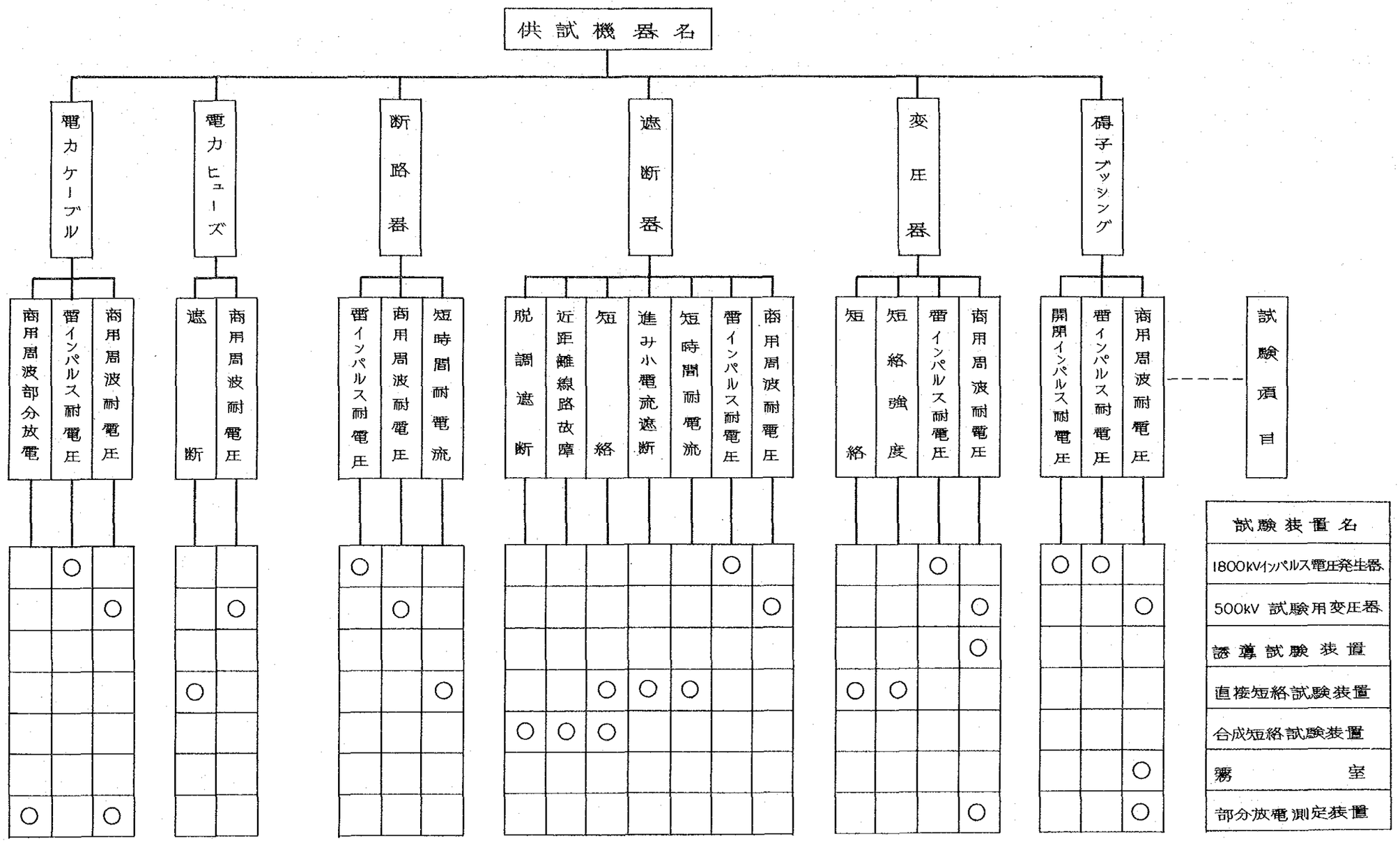
（ｉ）交流電圧破壊試験

（ii）人工汚損交流電圧試験

（iii）電圧時間曲線試験

（iv）絶縁特性試験

図4.1 試験項目と試験装置
（形式試験）



（５）規模設定の条件

事前調査団の調査結果にもとづいて，パキスタン側と協議した結果，下記の条件で試験用機器の規模を設定した。

（ａ）短絡発電機

次の２ケースの条件を満足する発電機容量を設定した。

ケース	相　数	電　圧	短絡電流
1	3	１２ kV	２５ kA
2	1	１２ kV	４０ kA

ケース１は，パキスタンで製作される11kV級配電機器（主として遮断器，変圧器）の短絡試験の実施を可能とするものであり，ケース２は将来パキスタンで製作される245kV遮断器の合成短絡試験における電流源となるものである。

（ｂ）合成短絡試験装置

近くパキスタンで国産化が予定されている36kV25kAから145kV25kAまでのガス遮断器の合成短絡試験の実施可能な設備容量を設定した。

（ｃ）試験用変圧器

220kV級電力機器の交流電圧試験及び500kV級碍子連の人工汚損試験が可能な設備容量を設定した。なお，段絶縁変圧器の誘導試験を行うため誘導発電設備を付設した。

4－2－2　建築の設計条件

（1）気候条件

イスラマバードの夏（5月～7月）は暑く，最高気温は45.1℃を記録し，冬（12月～2月）は，まれに降雪があり，最低気温は－2.8℃を記録している。

風向は，夏は南西，冬は北東が卓越し，7月には砂嵐がある。

降雨量は，月合計の平均で100mm程度であるが，7月～9月には200mm～300mmとなる。

建物は，原則として長手方向を東西に配し，夏の高温対策として，強い日射を遮断し，天井を高くして通風を良くする。冬期の夜間の冷え込みに対しては，暖房を行なうことによって対処する。

（2）建設事情

パキスタン国に於ける事務所建築の設計及び建設の一般的手法は，下記に示す通りである。

（a）構造及び材料

・　柱・梁・床　　：鉄筋コンクリート造

・　耐力壁・帳壁・間仕切壁　　：レンガ造

（b）外部仕上げ・外構

・　外　壁　　：レンガの上に塗装又は左官仕上

・　舗　道　　：レンガで端部のみコンクリート

（c）内部仕上げ等

・　床　　：テラゾー仕上

・　壁　　：プラスター仕上

・　天　井　　：吸音ボード塗装仕上

・　天井高　　：3.25m ～3.50m

・　床下幅員　　：2.4 m ～3.0 m

（d）一人当たり床面積

事務室　　：9.3 m² (100 平方フィート)

従って，各建屋は，原則として主架構を鉄筋コンクリート造とし，非耐力壁はレンガ積み，床はテラゾー仕上とする。

（３）建築関連法規

本研究所建設予定地は，首都計画区域外にあるため，首都開発計画局（ＣＤＡ）に対する届け出は不要である。

（４）宗教上の慣習

パキスタン国は，イスラム教が国教であることから，イスラム教の聖地メッカがある西の方向は神聖な方向とされる。従って，使用時に体の向きが東西に面する様な，便器の配置は避けなければならない。又，祈りの前に手足を洗う設備を洗面所内に設ける例が多い。

4－3 基本計画

4－3－1 敷地・配置計画

建設予定地は，南東角を水上として，北側に約1度，西側に約2度の緩やかな勾配を有する。

受電変電所，受水槽を含む水の供給，屋外排水，浄化槽及び排水池（必要な場合）その他4－6－2(2)に示す必要な設備は，パキスタン国側の負担で準備されることが，確認されている。

試験設備，受電設備の配置は機能上の要求から決定され，管理棟も一部に短絡試験測定制御室を取り込んでいる為，機能上の要求から配置が決められる。

敷地周囲には，視線防御，騒音・振動の遮蔽の意味合いからも植栽を施して緑地を確保し，研究の場にふさわしい快適な環境をつくり出すと共に，表土を安定させ，強風時の防砂，防塵をはかる。

4－3－2　試験設備計画

（1）短絡試験設備

（a）試験項目と機器仕様

機器の短絡試験（直接・合成）及び短絡強度試験をＩＥＣ規格によって実施可能ならしめるものである。

試験対象機器定格及び試験項目は次表の通りである。

試験項目	試験対象機器	定　　格
短絡試験（直　接）	遮断器（VCB.GCB)	12kV：8，12.5，16，25kA
〃　（合　成）	〃　（VCB.GCB)	36kV：　〃
〃　（　〃　）	〃　（GCB)	72.5kV：12，5，16，25kA
〃　（　〃　）	〃　（GCB)	145kV：12，5，20kA
短絡強度試験	遮断器，断路器	12kV～145kV
〃	変圧器	低圧側11kVの変圧器
〃	計器用変流器	12kV～245kV
〃	閉鎖型配電盤	12kVまで
〃	断路器	245kV
進み小電流遮断試験	遮断器	12kV～145kV

上記を考慮して決定した主要試験設備の仕様は次表に掲げる通りである。

No	機　　器　　名	数　量	定　　格	備　　考
1.	短絡発電機			
	1. 短絡発電機	1	横軸，円筒形回転界磁複式通風方式 3相，15kV 1,500MVA　t = 0 cycle 結　線　　Y 絶　縁　　F種	
	2. 励磁回路用変圧器	1	11kV/350V，　50Hz　600KVA	
	3. サイリスタ整流器	1	ゲートコントロール，サイリスタブリッジ 348kW　1,200A－290V	
	4. 界磁開閉器	1	DC　290V－1,200A	
	5. 励磁回路キュービクル	1	ソリッドステート自動電圧調整器	
	6. 起動用電動機	1	巻線形，開放，防滴形誘導電動機 3相，11kV，　　F種	
	7. 潤滑油装置	1	油槽容量　　10,000ℓ 冷却水許容最高温度　　35℃	
	8. 発電機制御盤	1		
2.	保護遮断器及投入器			
	1. 保護遮断器	1	真空遮断器 3相，15kV－80kA	
	2. 投入器	1	空気 3相，15kV－200kA peak	
3.	限流リアクトル			
	1. リアクトル	各3ヶ	0.01－0.02－0.04－0.08－0.16－0.32－0.64－1.28－2.56－5.12Ω Total　10.23Ω/相	
	2. 断路器	45	単相，15kV，40kA	
	3. 鉄構・銅帯ブス・支持碍子	1　式		

No	機　　器　　名	数　量	定　　格	備　　考
4.	接続切換断路器			
	1. 主回路用	6	単相，15kV，40kA，手動操作	
	2. 短絡変圧器一次側	10	↓	
	3. 大電流試験室用	16	↓	
	4. 直接試験室用	3	↓	
	5. 汚損試験室用	3	↓	
	6. 短絡変圧器二次側	16	単相，45kV，40kA，手動操作	
	7. 合成／直接試験室用	12	↓	
5.	試験変圧器			
	1. 短絡変圧器	3	単相，15kV/10-15kV，50MVA %Z＝2%，短絡容量，700MVA	
	2. 低圧大電流変圧器	3	単相，15kV/250-500V，3 MVA %Z＝4%	
6.	補　機			
	1. サージアブソーバー	3	SA：18.6kV，C:22kV-0.15μF	
	2. 計器用変圧器	6	単相，22kV/110V-200VA	
	3. 計器用変成器（ｺﾝﾃﾞﾝｻｰ形）	3	単相，110kV/110V-200VA	
	4. 避雷器	3	単相，18.6kV	
	5. 避雷器	3	単相，84kV	
	6. 気中投入器	1	3相，460V，100kA（220kAピーク）	
7.	圧縮空気発生プラント			
	1. 制御盤	1		
	2. 減圧弁グループ	1	30kg/cm² → 15kg/cm²に減圧	
	3. 空気圧縮機	2	400/230V，22kW，50Hz	
	4. 空気タンク	3	1,000ℓ空気タンク	

No	機　器　名	数　量	定　格	備　考
8.	直流電源設備			
	1. 蓄電池及び充電装置	1	DC 110V - 1,000AH 充電装置DC 出力 250A	
	2. 蓄電池及び充電装置	1	DC 110V - 100AH 充電装置DC 出力 75A	
9.	所内電源設備			
	1. 所内変圧器	2	3相，11kV/400-230V，50Hz 200KVA	
	2. AC分電盤	2		
	3. DC分電盤	2		
10.	試験制御盤			
	1. デジタルシーケンスタイマー	1	24ch，ソリッドステートタイプ 時間間隔 10ch …… 0.1 cy 14ch …… 0.25cy 最大時間 999.99cy	
	2. 短絡試験制御盤	1		
	3. 試験系統表示盤	1		
11.	合成試験設備		36kV-40kA～145kV-40kAまでを対象とした屋外設備	
11.1	主コンデンサーバンク			
	1. 主コンデンサーバンク	1 式	400kV/3.75μF (300kJ) 構成100kV-15μF のコンデンサーブロック 4段	
	2. 絶縁架台	1 式	中性点対地絶縁 BIL 400kV 最高印加電圧 DC 400kV	
	3. 充電抵抗器	2	対地絶縁 DC 250kV 試験電圧 DC 250kV 100kΩ	
	4. 充電用断路器	2	試験電圧 DC 250kV (0.5A) 対地絶縁 BIL 650kV ……1台 〃 〃 400kV ……1台	
	5. 接地装置	2	対地絶縁 BIL 650kV 試験電圧 DC 250kV，150kJの直列抵抗放電	
	6. 充電測定用抵抗分圧器	1	DC 250kV，250MΩ	

No	機　　器　　名	数　量	定　　格	備　考
11.1	7. 充電装置	1	入力AC 230V,出力DC±250kV(最高) 極性切替方式 12.5μF×2を±200kV まで2分間 にて充電可	
	8. 電流零点検出装置	1	1kA～40kAの範囲でパルス出力 パルス出力：零点前0～1ms可変	
	9. 始動装置	1	始動ギャップトリガー用	
	10. 始動ギャップ	2	高圧側（対地 BIL 650kV）及び 低圧側（トリガーギャップ）各1	
	11. 中性点断路器	1	試験電圧 DC 250kV 直列抵抗（50MΩ)付	
	12. 合成試験制御盤	1		
	13. 試験電源盤	1		
11.2	再起電圧回路			
	1. コンデンサーバンク	1 式	最高使用電圧 600kV 容量 0.473μF (85.2kJ) 構成100kV-2.84μF のコンデンサー ブロック　6段	
	2. 絶縁架台	1 式	最高試験電圧　BIL 650kV	
	3. 再起電圧抵抗器	各 20	無誘導巻き抵抗器 5Ω，10Ω，20Ω，50Ω，100Ω 0.5kΩ，1kΩ，10kΩ	
	4. 抵抗絶縁支持台	1 式	対地絶縁　BIL 650kV	
	5. 遅れ時間調整コンデンサー	各 10	DC 100kV，0.05μF DC 100kV，0.1μF	
	6. 遅れ時間調整抵抗	各 10	0.5Ω，1Ω	
	7. 絶縁架台	1 式	対地絶縁　BIL 650kV	
	8. 電流源コンデンサー	1 式	試験電圧　AC 15kV 4μF　2ヶ直列	
	9. 電流源抵抗	1 式	AC 30kV，10Ω（2×5Ω）	

No	機　器　名	数　量	定　格	備　考
11.3	限流リアクトル		対地絶縁　BIL 650kV, 500Hz Total　322mH	
	1.　リアクトル	1　式	6 kA ……　計 22mH	
	2.　リアクトル	1　式	3 kA ……　計100mH	
	3.　リアクトル	1　式	1.5 kA ……　計200mH	
	4.　絶縁支持台	7　組	対地絶縁　BIL 650kV	
11.4	アーク延長装置	(2sets)		
	1.　コンデンサー	1　式	最高試験電圧 DC 75kV, 定格　DC 60kV 容量　12μF × 2 sets 30kJ	
	2.　絶縁架台	2　組	対地絶縁　DC60kV＋AC30kV	
	3.　充電装置	1	入力 AC 230V, 出力 DC±60kV 24μF×2を　±50kVまで2分間 にて充電	
	4.　充電断路器	2	DC 60kV	
	5.　充電抵抗器	2	DC 60kV	
	6.　充電測定用抵抗分圧器	2	DC 60kV, 60MΩ	
	7.　放電抵抗器	2	DC 60kV, 15Ω	
	8.　放電リアクトル	2	DC 60kV, 200μH(22mm²)	
	9.　電流零点検出装置	2	1 kA～40kAの範囲でパルス出力 パルス検出零点前　100μS	
	10.　始動ギャップ	2	DC 60kV ＋ AC 30kV 真空トリガーギャップ	
	11.　接地装置	2	DC 60kV ＋ AC 30kV 直列抵抗器 (DC 60kV, 22kJ)放電可	
	12.　始動装置	2	始動ギャップトリガー用装置 パルス選択，増幅機能付	

No	機　　器　　名	数　量	定　　格	備　　考
11.5	近距離線路故障模擬回路		（均等分割π形：Z＝450Ω）	
	1. リアクトル	1　式	対地絶縁　BIL 650kV 500Hz － 4 kA－450Ω Max. 14.4mH	
	2. コンデンサー	1　式	定格　AC 35kV 試験電圧　AC 42kV （ 750PF×２）　　各32 (1,500PF×２)	
	3. 並列抵抗	1　式	AC 40kV	
	4. 断路器	1	線路短絡用AC 40kV	
	5. 球ギャップ	1	線路保護用　φ150	
	6. 絶縁架台	1　式	対地絶縁　BIL 650kV	
11.6	補助しゃ断器	1	168kV, 40kA GCB	
12.	力率調整用グリッド抵抗			
	1. 高電圧用	3	絶縁　36kV (13.2mΩ, 25kA, 0.2sec) ×３段	
	2. 低電圧用	3	絶縁　15kV (25mΩ, 5 kA, 0.2sec) ×４段	

No	機　　器　　名	数　量	定　　格	備　　考
13.	測定用補機装置			
	1. 分圧器 （短絡試験，3相進み用）	6	40kV, RCR分圧器 1/1,000, 1/4,000±5% 0～100kHz±5% (vs 1kHz)	
	2. 分圧器 （合成試験，単相進み用）	2	250kV, RCR分圧器 1/5,000, 1/10,000±5% 0～1MHz±5% (vs 1kHz)	
	3. 分流器 （短時間電流試験）	3	単相，500Hz, 100kA/5V 0.2sec	
	4. 分流器 （短絡試験）	3	単相，500Hz, 30kA/5V 0.6sec	
	5. 分流器 （短絡試験）	3	単相，500Hz, 5 kA/5V 0.2sec	
	6. 分流器 （進み用）	3	コアタイプ，単相，500Hz 10A/5V, 連続	
	7. 分流器 （進み用）	3	コアタイプ，単相，500Hz 100A/5V, 連続	
	8. 変流器 （短絡試験用内部アーク テスト）	3	単相，50Hz, 36kV, 5kA/5A, 15VA, 10P10 50kA (1 sec) 過渡特性付（時定数 0.1sec）	
	9. 変流器 （3相進み試験用）	3	単相，50Hz, 24kV, 50A/5A, 15VA, 1.0 級 3.5kA (1 sec)	
	10. 50kA分流器	1	コアキシャルタイプ 50kA/5V, 0.6sec	
	11. 高周波電流測定用変流器 （電圧源電流用）	1	ピアソン形 1,000A/1V	

No	機　器　名	数　量	定　格	備　考
14.	測定器			
	1. 電磁オシログラフ	2	18ch, チャートスピード MAX. 400cm/s	
	2. デュアルビームオシロスコープ	1	DC ～100MHz	
	3. デジタルメモリー （ディスプレイ付）	4	10ビット，4kワード	
	4. オシロスコープ	1	DC ～100MHz	
	5. 高速度カメラ	1		
	6. ＴＶモニターシステム	1		
	7. 測定台	2		
	8. キャビネット	1		
	9. オシロ較正用直流電源	2	0～100V可変，1A	
	10. 較正用メータ	2	3，10，30，100，300V 切替，0.5級	
	11. 調整用抵抗器 （電磁オシロ用）	2	0.1Ω～99.999kΩ (0.1－1－10－100Ω－1－10kΩ 18ch 各々9段階ノッチ式）	
	12. 撮影装置	4	インスタントカメラ （デジタルメモリー， オシロスコープ用）	
	13. トリガパルス装置 （現象同期用）	1	トリガー部（パルス電圧，接点信号） 出力電圧 10V パルス 1ms幅	
	14. 接触抵抗測定器	1	DC 100A, 0～10mΩ	
	15. デジタル電圧計 （Trインピーダンス測定用）	2	精度 0.2% 0～200V	
	16. 測定器電源装置	8	自動電圧調整器付 0～130V 絶縁 Tr 20A	
	17. サージ保護装置 （電磁オシロ用）	2 sets	各ch毎に電流抑御抵抗サージアブソーバ(TNR 200V用）を装置	

No	機　　器　　名	数　量	定　　格	備　　考
15	データ処理装置			
	1. 高耐圧直流増幅器	10	1 ch×10（中，低速現象用）	
	2. アナログ・デジタル変換器	2	2 ch×2（高速現象用）	
	3. データ処理コンピュータ	1		
	4. プリンタ	1		
	5. プロッタ	1		

（２）高電圧試験設備

高電圧試験設備は以下に示す機器の交流耐電圧試験，電インパルス電圧試験，500kV碍子連の人工汚損試験及び各種機器の絶縁特性試験をＩＥＣ規格により実施可能ならしめるものである。

試験対象機器定格及び試験項目は次表の通りである。

試験項目	試験対象機器	定　　格
電インパルス電圧試験	碍子連，遮断器 変圧器，断路器 その他	公称電圧 220kVまでの電インパルス試験 （変圧器 220kV 250MVAまで）
交流耐電圧試験	同　上	公称電圧 220kVまでの交流耐電圧試験
500kV碍子連人工汚損試験	280 φ標準碍子連 320 φ耐霧碍子連	0.3mg/㎠の汚損時における碍子連の汚損試験 （定印霧中耐電圧法）
絶縁特性試験 （tan δ，部分放電）	変圧器 交流発電機	
誘導電圧試験	変圧器	220kV 75MVAまで

主要試験設備の仕様は次のとおりである。

No	機　　器　　名	数　量	定　　格	備　　考
1.	交流耐電圧試験装置			
	1. 試験用変圧器	1	単相，50Hz，3.3－6.6kV/500kV 2MVA（30分定格） 短絡容量　20MVA	
	2. 補償用リアクトル	1	単相，3.3kV 160～400KVA（30分定格）　50Hz 40～400KVA（　〃　）　200Hz	
	3. 限流リアクトル	1	単相，3.3kV，1Ω	
	4. 誘導電圧調整器	1	単相，3,300V	
2.	インパルス電圧発生器			
	1. インパルス電圧発生器	1	全充電電圧　1,800kV　180kJ	
	2. 直流充電装置	1	入力AC180-160V　189-213A　34kVA 出力DC±100kV,100MA	
	3. 充電電圧自動制御装置	1		
	4. 分圧器	1	RCR 分圧器（ユニバーサルタイプ）	
	5. 標準球間隙			
	高圧用	1	手動調整 1,000φ，1,800kVIG用	
	低圧用	1	〃　250φ	
	6. カップリングキャパシタ			
3.	誘導試験装置			
	1. 昇圧用変圧器	1	単相，200Hz，1,000KVA（5分間） 3.3kV/18.75－37.5－75－150kV	
	2. 発電機	1	単相，200Hz，3.3kV，1,000KVA	
	3. 駆動用電動機	1	3相，400V，600kW，50Hz	

No	機　　器　　名	数　量	定　　格	備　　考
4.	注水装置			
	1. ノズル及び配管	1　式	IEC-60, Europian plain nozzle	
	2. 注水装置用枠	1		
	3. ポンプ	1	電動機付　37kW、揚程200m	
	4. 給水槽	1	20m³	
	5. 制御盤	1		
5.	霧発生装置			
	1. ボイラ	1	最大蒸発量　1,200kg/時	
	2. 燃料タンク	1		
	3. 給水槽			
	4. ノズル及び配管	1　式	ノズル　40ヶ	
6.	壁貫ブッシング	1	500kV　一般用	
7.	部分放電測定装置	1		
8.	データ処理装置			
	1. デジタルメモリー	1	ディスプレイ装置付	
	2. データ処理用コンピュータ	1		
	3. プリンター	1		
	4. プロッター			