

送 電 工 学

目 次

第1編 総 論

第1章 総 説

1.1 電気の利用と送配電	1
1.2 送配電の目的とその区別	2
1.3 送電の沿革	2
1.4 送配電の大要	3
1.4.1 送配電系統	3
1.4.2 架空電線路と地中電線路	5
1.4.3 送電効率	5
1.4.4 送配電の現状	6
1.5 電気方式	6
1.5.1 直流方式と交流方式	6
1.5.2 送電と配電の観念の相違	7
1.5.3 電力系統の周波数	7
1.5.4 各種電気方式の比較	7
1.6 送配電電圧	8
1.6.1 電圧の種類	8
1.6.2 公称電圧および標準電圧	9
1.6.3 送電電圧と送電電力	9
1.7 気象と電線路	10
1.7.1 概 説	10
1.7.2 風の種類	11
1.7.3 風圧の種類	11
1.7.4 風による電線の振動とその対策	12
電線の振動——防振装置	
1.7.5 雪	13
1.8 系統の構成	15
1.8.1 基本的条件	15

1.8.2	一次送電系統	16
1.9	摘要	16
1.10	問題	17

第2章 架空電線

2.1	概説	19
2.2	電線の種類	19
2.2.1	構造による種類	19
	単線——より線——中空電線	
2.2.2	材質による種類	21
	単金属線——合金線——双金属線——合成より線	
2.2.3	組み合わせによる種類	24
2.3	電線の性能	24
2.3.1	電線の電氣的性能	24
	抵抗率と導電率——電線の抵抗と温度係数	
2.3.2	電線の機械的性能	26
	引張強さと引張荷重——伸び——弾性係数と弾性限度——線膨張係数——密度	
2.3.3	合成より線の弾性係数と線膨張係数	30
2.3.4	電線の性能表	31
2.4	電線表	32
2.4.1	硬銅より線	32
2.4.2	鋼心アルミより線	33
2.5	電線の接続	34
2.6	電線の許容電流	35
2.7	電線のたるみ計算	35
2.7.1	電線のたるみ	36
	電線支持点に高低差のない径間の場合——電線支持点に高低差のある径間の場合	
2.7.2	電線に加わる荷重	38
	氷雪の少ない地方——氷雪の多い地方——特殊な地方——温度——荷重条件	
2.7.3	架空地線のたるみ	41
2.7.4	たるみ計算式	41
2.7.5	たるみ計算例	42
2.8	摘要	44
2.9	問題	45

第3章 がいしおよび架線金具

3.1 概 説	46
3.1.1 送電線路用がいし	46
3.1.2 がいしの材料	47
3.1.3 がいしの種類	47
3.2 がいしの構造とその特徴	47
3.2.1 ピンがいし	47
3.2.2 円板形懸垂がいし	48
3.2.3 長幹がいし	49
3.2.4 ラインポストがいし	51
3.2.5 ピン形支持がいし	52
3.2.6 円筒形支持がいしおよび円筒形ポストがいし	52
3.2.7 がいしの取付金具	52
3.3 がいしのコロナ放電およびフラッシュオーバー	53
3.3.1 がいしのコロナ放電	53
3.3.2 乾燥フラッシュオーバー	54
3.3.3 注水フラッシュオーバー電圧	54
3.3.4 衝撃電圧によるフラッシュオーバー	54
3.3.5 がいしのフラッシュオーバー電圧に影響を及ぼす因子	55
3.4 がいしの静電容量と電位分布	58
3.4.1 各種がいしの静電容量と誘電正接	58
3.4.2 ピンがいし各層の負担電圧	58
3.4.3 懸垂がいし連に沿っての電位分布	59
3.5 がいしの災害とその対策	60
3.5.1 概 説	60
3.5.2 汚損がいしのフラッシュオーバー機構	60
3.5.3 汚損フラッシュオーバー防止法	60
3.6 がいしの油中耐電圧特性	62
3.6.1 概 説	62
3.6.2 各種がいしの油中破壊電圧	62
3.6.3 がいしの油中破壊電圧に影響を与える因子	63
3.7 がいしの機械的性能	63
3.7.1 ピンがいしの機械的性能	63
3.7.2 円板形懸垂がいしの機械的性能	63
3.8 がいしの劣化	64

3.8.1	がいしの劣化率	64
3.8.2	がいし劣化の原因とその対策 磁器の吸湿性—温度変化—セメントの硬化膨張—セメントの凍結膨張—磁器体内のさけめ—金具の電食	65
3.8.3	劣化がいしの検出	66
3.9	摘 要	67
3.10	問 題	68

第4章 架空電線路用支持物

4.1	概 説	69
4.2	木 柱	70
4.2.1	木柱の種類	70
4.2.2	木柱材	70
4.2.3	防腐剤(注入剤) クレオソート注入柱—マレニット注入柱—硫酸銅注入柱	72
4.2.4	木柱の付属材料 腕木および腕金材—根かせ材—鉄線	73
4.2.5	継柱および副木 継柱—副木	74
4.3	木柱の設計	75
4.3.1	木柱の許容強さ	75
4.3.2	支線の許容強さ	76
4.3.3	装 柱	76
4.3.4	木柱の強さの計算 支線を有しない単柱—風圧荷重に対し強さの一部を分担させる支線を有する単柱—支線を有しないH柱またはA柱—風圧荷重に対し強さの一部を分担させる支線を有するH柱またはA柱—中腹材を用いるH柱またはA柱—特別高圧電線路の支持物としての木柱の強さの計算	77
4.3.5	支線の強さの計算 単柱に用いる支線—H柱またはA柱に用いる支線	79
4.3.6	木柱の基礎	79
4.3.7	木柱送電線路の補強	80
4.4	鉄筋コンクリート柱	80
4.4.1	概 説	80
4.4.2	製作方法別による鉄筋コンクリート柱の種類 現場打鉄筋コンクリート柱—工場製作現場継ぎ合わせ鉄筋コンクリート柱	81

——工場製作鉄筋コンクリート柱	
4.4.3 装柱別、強さ別による種類	82
4.5 鉄塔と鉄柱	83
4.5.1 概説	83
4.5.2 鉄塔、鉄柱の種類	83
形状による種類——強さによる種類	
4.5.3 鉄塔、鉄柱の強さの計算	86
4.6 特殊支持物	87
4.7 摘要	88
4.8 問題	89

第2編 送電

第5章 線路定数

5.1 概説	91
5.2 抵抗	92
5.2.1 抵抗率と導電率	92
5.2.2 抵抗の温度係数	92
5.2.3 表皮効果	92
5.3 インダクタンス	93
5.3.1 インダクタンスの定義と単位	93
5.3.2 直線状導線の周囲の磁束	94
導線の外部——導線の内部	
5.3.3 往復2導線のインダクタンス	97
5.3.4 三相一回線送電線路のインダクタンス	99
5.3.5 大地帰路のインダクタンス	100
1線と大地帰路の場合——2線の大地帰路の場合——総括	
5.4 静電容量	103
5.4.1 往復2導線の静電容量	103
5.4.2 対地静電容量	105
5.4.3 単相二線式送電線路の静電容量	105
電線の太さおよび地表上の高さが異なる場合——電線の太さおよび地表上の高さが同一の場合	
5.4.4 三相一回線送電線路の静電容量	108
電線の太さおよび地表上の高さが異なる場合——電線の太さおよび地表上	

の高さが同一の場合——3電線のほかに架空地線がある場合

5.5	複導体架空送電線の線路定数	115
5.6	リーカンス	117
5.7	電線のたるみと電線地表上の高さ	117
5.8	摘 要	118
5.9	問 題	119

第6章 電気的特性と送電容量

6.1	概 説	122
6.2	短距離送電線路（インピーダンス回路）	122
6.3	中距離送電線路	124
6.3.1	概 説	124
6.3.2	T回路	124
6.3.3	π 回路	125
6.4	長距離送電線路	126
6.5	四端子定数	130
6.6	送受電電力の計算と円線図	137
6.6.1	交流電力の表わし方	137
6.6.2	送受電電力計算式	139
6.6.3	電力円線図	141
6.7	電圧の保持と調相容量	144
6.8	送電損失	146
6.9	分布静電容量の影響	148
6.9.1	フェランチ現象	148
6.9.2	発電機の自己励磁	149
6.9.3	自己励磁を防ぐための条件	149
6.10	送電特性計算例	150
6.11	送電容量	154
6.11.1	送電容量の意義	154
6.11.2	固有送電容量	155
6.12	摘 要	155
6.13	問 題	158

第7章 異常電圧とコロナ

7.1	概 説	163
7.2	送電系統に発生する異常電圧	163

7.2.1	内部異常電圧	163
	内部異常電圧の種類——過渡振動電圧	
7.2.2	外部異常電圧	166
	雷放電の諸特性——雷による異常電圧	168
7.3	雷しゃへいと逆フラッシュオーバの対策	170
7.3.1	雷しゃへい	170
	設置方針——保護効率	
7.3.2	逆フラッシュオーバとその対策	172
	概説——鉄塔逆フラッシュオーバ——径間逆フラッシュオーバ	
7.4	絶縁協調	174
	概説——絶縁協調対照表——送配電線路における絶縁協調	
7.5	コロナ	177
7.5.1	コロナとその影響	177
7.5.2	コロナ臨界電圧と部分コロナ	179
	健全時のコロナ臨界電圧——故障時における健全相電線のコロナ開始電圧	
	——部分コロナ	
7.5.3	複導体方式とその特色	182
7.5.4	コロナ損	184
	コロナ臨界電圧以上の電圧に対するコロナ損計算式——複導体方式のコロナ損	
7.5.5	コロナ雑音	185
	概説——コロナ雑音の特色——雑音電界の強さ——近接あるいは交差配電線路への誘導	
7.6	摘 要	187
7.7	問 題	188

第8章 中性点接地方式

8.1	概 説	190
8.2	各種の中性点接地方式	191
8.2.1	非接地方式	191
8.2.2	直接接地方式	192
8.2.3	低抵抗接地方式	193
8.2.4	限流リアクトル接地方式	194
8.2.5	高抵抗接地方式	194
8.2.6	消弧リアクトル接地方式	195
	第1の作用——第2の作用——消弧リアクトルの適用	

8.2.7 抵抗リアクトル並列接地方式	198
8.3 中性点接地方式と異常電圧	200
8.4 接地変圧器	200
8.5 摘 要	200
8.6 問 題	201

第9章 故障計算法

9.1 概 説	203
9.2 故障計算の基礎	203
9.2.1 重ね合わせの理	203
9.2.2 テブナンの定理	204
9.2.3 単位法, パーセンテージ法	205
9.3 三相交流送電線路における故障計算	207
9.3.1 不平衡電圧電流とその分解法	207
9.3.2 対称座標法による不平衡故障の計算	210
各成分回路の誘導——1線地絡——2線地絡——線間単相短絡——三相短絡——1線断線——2線断線	
9.3.3 α - β -0 回路法による不平衡故障の計算	217
1線地絡——2線地絡——線間単相短絡——三相短絡——1線断線——2線断線	
9.4 計算上必要な諸定数	220
9.4.1 同期機の定数	220
9.4.2 変圧器のリアクタンス	222
9.4.3 線路定数	222
9.5 送電系統における短絡電流簡易計算法	226
9.5.1 適用基準	226
9.5.2 簡易計算法	226
対称短絡電流——直流分——最大波高値——非対称短絡電流	
9.5.3 計算例	230
9.6 各種計算機の適要	231
9.7 摘 要	233
9.8 問 題	235

第10章 送電系統の安定度と送電容量

10.1 送電系統安定度の概要	238
10.1.1 送電系統安定度の分類	238

10.1.2	定態安定度	240
10.1.3	AVR効果を考慮した場合の定態安定度（動態安定度）	242
10.1.4	過渡安定度	243
10.2	送電系統安定度に関連する系統諸要素の基本特性	246
10.2.1	同期機の特性	246
10.2.2	電力系統負荷の特性	247
10.3	送電容量	248
10.3.1	送電容量の考え方	248
10.3.2	送電容量の概算	249
	スチルの式—固有負荷法—送電容量係数法	
10.4	送電系統安定度および送電容量の増加対策	250
10.4.1	短距離および中距離送電線路の送電容量のおもな増加対策	250
10.4.2	長距離送電線路の送電容量のおもな増加対策（安定度向上対策）	251
	系統のリアクタンスを少なくすること—系統の連系と系統構成—高速 度しゃ断と再投入方式の採用—同期はずれ終電器による系統分離—速 応励磁方式の採用—故障時発電機への入出力の不均衡を少なくすること	
10.5	摘 要	252
10.6	問 題	253

第11章 誘導障害

11.1	概 説	254
11.2	電磁誘導電圧の計算	256
11.2.1	電磁誘導電圧の予測算定	256
11.2.2	被誘導線の特性	256
	通信線の終端を接地した場合—通信線の終端を開放した場合	
11.3	アンペア・キロメートルの計算	258
11.4	静電誘導電圧の計算	259
11.5	中性点接地方式と誘導障害	261
11.5.1	非接地方式	261
11.5.2	抵抗接地方式	261
11.5.3	消弧リアクトル接地方式	262
11.5.4	直接接地方式	263
	平常運転時の誘導雑音障害—地絡故障時の基本波誘導高電圧	
11.6	交流電気鉄道における誘導障害	265
11.7	誘導障害防止対策	266
11.7.1	電磁誘導電圧を減少する対策	266

11.7.2	電磁誘導電圧を無害に処理する対策	267
	通信線における避雷器の使用——高耐圧通信ケーブル	
11.8	電波障害	268
11.8.1	概説	268
11.8.2	送電線雑音	268
	雑音の構成——気象条件の影響——伝搬および減衰——周波数特性——雑音障害の防止	
11.8.3	配電線雑音	271
	配電器具から生じる雑音——伝搬	
11.8.4	一般電気機器の雑音	272
11.9	高調波による誘導雑音障害	213
11.9.1	高調波による雑音電圧	273
11.9.2	誘導雑音障害の防止対策	274
11.10	摘要	275
11.11	問題	277

第12章 送電系統の保護継電方式

12.1	概説	278
12.1.1	保護継電器	278
12.1.2	保護継電方式の具備条件	278
12.2	保護継電器の分類	279
12.2.1	構造上からの分類	279
	誘導形継電器——可動鉄心形継電器——可動コイル形継電器——誘導環形継電器——電子形継電器	
12.2.2	動作時間による分類	284
12.2.3	機能上からの分類	285
12.3	保護継電器の代表例	286
12.3.1	過電流継電器	286
	偏位相式誘導形過電流継電器——くま取りコイル式誘導形過電流継電器——電圧抑制付過電流継電器——地絡過電流継電器	
12.3.2	電力方向継電器	290
	構造および特性——高速度電力方向継電器——地絡方向継電器——零相電流電圧のとり方	
12.4	距離継電器	294
12.4.1	概説	294

12.4.2	距離継電器の種類	295
	高速度インピーダンス継電器—オーム継電器—モー継電器—補正モー継電器	
12.5	表示線式および搬送保護継電方式	300
12.5.1	表示線式保護継電方式	300
	交流表示線式保護継電方式—直流表示線式保護継電方式	
12.5.2	搬送保護継電方式	302
12.5.3	自動再閉路方式	303
	単相再閉路方式と三相再閉路方式—自動再閉路方式の利点と問題点	
12.6	摘 要	306
12.7	問 題	306

第13章 架空送電線路の設計と建設

13.1	概 説	308
13.2	送電電圧と線路経過地の選定	309
13.2.1	送電電圧の選定	309
13.2.2	線路経過地の選定	310
13.3	送電線路の絶縁	311
13.3.1	送電線路の絶縁設計の考え方	311
13.3.2	内部異常電圧と送電線路の絶縁	313
	内部異常電圧の倍数—がいし個数	
13.3.3	雷と送電線路の絶縁	315
13.3.4	絶縁の間隔	316
	標準絶縁間隔と最小絶縁間隔—クリアランスダイアグラム—電線相互の間隔—送電線路と接近または交さる他物との離隔距離—電線の地上高さ	
13.3.5	塩害と送電線路の絶縁	319
	汚線区分と最低閃絡電圧	
13.4	絶縁協調	321
13.4.1	概 説	321
13.4.2	各機器の衝撃絶縁強度	321
	概説—送電線路の絶縁—避雷器の制限電圧—変圧器の絶縁—計器用変成器の絶縁—低減絶縁と絶縁協調	
13.5	支持物の選定	324
13.5.1	選定の条件	324
13.5.2	支持物種類の選定	324

	鉄塔—鉄柱—鉄筋コンクリート柱—木柱	
13.5.3	最近使用され始めた支持物	325
	鋼管鉄塔—パンザーマスト	
13.5.4	支持物と径間との関係	326
13.5.5	支持物の形別による分類	327
13.6	工事準備	328
13.6.1	測 量	328
13.6.2	工事準備	329
13.7	建 設	329
13.7.1	鉄塔, 鉄柱の建設	329
	基礎工事—組立工事—整地	
13.7.2	木柱の建設	331
	掘削—継柱—建柱—装柱—支線取付	
13.7.3	鉄筋コンクリート柱	332
13.7.4	架線工事	332
	延線作業—緊線作業—架線足場	
13.8	竣工検査	334
13.8.1	施設者の行なう検査	334
13.8.2	官庁の使用前検査	335
13.9	摘 要	335
13.10	問 題	337

第14章 送電線路の保守

14.1	概 説	338
14.2	保守業務	338
14.2.1	線路巡視	338
14.2.2	保守作業	339
	支持物作業—がいし作業—電線作業—活線作用	
14.3	架空送電線路の試験	345
14.3.1	絶縁耐力試験	346
14.3.2	線路定数測定	346
14.3.3	充電試験	346
	試送電—試充電	
14.3.4	相回転および並列試験	347
14.3.5	残留電圧の測定	347
14.3.6	通信線誘導障害試験	347

静電誘導試験——電磁誘導試験

14.3.7	消弧リアクトル試験	348
	直列共振試験——並列共振試験——消弧試験	
14.3.8	コロナ試験	349
	コロナ損——コロナ雑音障害	
14.3.9	故障点標定装置の試験	349
14.3.10	人工故障試験	350
14.4	摘要	350
14.5	問題	351

第15章 地中電線路

15.1	概説	352
15.1.1	地中電線路の発達	352
15.1.2	地中電線路の特徴	352
15.1.3	地中電線路の電気方式	353
	送電方式——配電方式	
15.2	電力ケーブル	357
15.2.1	電力ケーブルの種類と用途	357
	鉛被ケーブル——外装ケーブル——ジュート巻ケーブル——防食ケーブル	
15.2.2	各種電力ケーブルの構造と特徴	358
	ベルトケーブル——IIケーブル——SLケーブル——低ガス圧ケーブル	
	——ブチルゴム絶縁ケーブル——ポリエチレン絶縁ケーブル——OFケーブル	
	——フラット形ケーブル——パイプ形ケーブル——自蔵形ケーブル	
15.3	電力ケーブル用付属品	364
15.3.1	ケーブルの接続	364
15.3.2	OFケーブル給油系統付属品	366
15.3.3	その他特殊ケーブルの付属品	369
15.4	ケーブルの布設	370
15.4.1	布設方式の種類	370
15.4.2	直埋式工事	372
15.4.3	管路式工事	373
	管路およびマンホール——管路式ケーブルの布設	
15.4.4	配電用諸設備工事	376
	変圧器塔——変圧器マンホール	
15.5	許容電流	377
15.5.1	許容電流の定め方	377

15.5.2	定常状態における温度上昇	379
15.5.3	温度上昇の過渡現象	380
15.5.4	負荷電流の様相と温度上昇	381
	定電流負荷——1日1サイクルの負荷電流——1日2サイクルの負荷電流 ——針状負荷電流——短時間負荷電流——短絡電流	
15.6	電 食	383
15.6.1	概 説	383
15.6.2	電食の調査	383
15.6.3	電食の防護	383
	排流法——強制排流法——低電位金属体の接続埋設——絶縁接続——絶縁 物による包被	
15.7	摘 要	386
15.8	問 題	388

第16章 電力用通信施設

16.1	電気事業と通信施設	389
16.1.1	給電用通信	389
16.1.2	保守用通信	389
16.1.3	業務用通信	389
16.1.4	施設の方式	389
16.2	有線通信	390
16.2.1	通信線路	390
16.2.2	電話交換機	391
16.2.3	トールダイヤル	392
16.2.4	電力線搬送通信	392
16.3	無線通信	394
16.3.1	短波通信	394
16.3.2	超短波通信	394
16.3.4	マイクロ波通信	395
16.4	応用通信	396
16.4.1	遠隔測定装置	396
16.4.2	遠隔監視制御装置	397
16.4.3	搬送保護継電装置	397
16.4.4	送電線故障点標定装置	398
16.5	摘 要	398
16.6	問 題	399

第17章 送電系統における諸問題

17.1	各種調相機器の比較	400
17.1.1	概説	400
17.1.2	静的特性の比較 電圧調整と力率調整—定態安定度	400
17.1.3	動的特性の比較 同期調相機と電力用コンデンサ—直列コンデンサと分路コンデンサ	402
17.1.4	同期調相機と電力用コンデンサとの経済的比較	405
17.2	直流送電	406
17.2.1	概説	406
17.2.2	直流送電系統の構成	407
17.2.3	直流送電の損失	408
17.2.4	直流送電の実施例と計画	409
17.3	故障点検出法	411
17.3.1	故障点検出の目的と方法の特徴	411
17.3.2	架空送電線路の故障点探定器 進行波を利用する標定法—商用周波電流電圧の変化から故障点を求める方法	412
17.3.3	地中送電線路の故障点探定器 マレーループ法—直読静電容量計—パルス法	413
17.4	摘要	414
17.5	問題	416
	付録	417
	周波数および経済的負荷配分の自動制御—送電系統におけるループ運転	
	索引	425

配電・屋内配線

第1編 配電工学

第2編 屋内配線