

最新 電気鉄道工学

(三訂版)

電気学会 電気鉄道における教育 編
調査専門委員会

コロナ社

コロナ社

電気鉄道における教育調査専門委員会構成（五十音順）

委員長	持永 芳文	((財)鉄道総合技術研究所)	工学博士
委員	油谷 浩助	(富士電機(株))	
	新井 浩一	((株)東芝)	
	石津 一正	(東海旅客鉄道(株))	
	伊藤興一郎	(日本鉄道建設公団)	
	伊藤 二郎	(電気技術開発(株))	
	海老塚龍次	(東洋電機製造(株))	
	江間 敏	(沼津工業高等専門学校)	
	小谷 哲夫	(西日本旅客鉄道(株))	
	西條 隆繁	(芝浦工業大学)	工学博士
	斎藤 八郎	(東鉄工業(株))	
	坂口 勉	((社)日本鉄道電気技術協会)	
	佐藤 正夫	(鉄道情報システム(株))	
	白土 義男	((株)京三製作所)	
	曾根 悟	(東京大学)	工学博士
	中村 英夫	(日本大学)	工学博士
	服部 輝夫	((社)民営鉄道協会)	
	藤江 恂治	((株)高岳製作所)	
	水間 毅	(運輸省交通安全公害研究所)	工学博士
	宮地 正和	(東日本旅客鉄道(株))	途中退任)
高田 忍	(東日本旅客鉄道(株))	途中就任)	
柳沢 和俊	(日本テレコム(株))		
米澤 朗	(運輸省鉄道局)		
幹事	豊田 瑛一	((株)日立製作所)	
	藤井 保和	((財)鉄道総合技術研究所)	
幹事補	兎束 哲夫	((財)鉄道総合技術研究所)	

(1998年3月現在)

はじめに

日本初の鉄道は1872年に新橋～横浜間に開設され、運行管理にモールス通信が使用された。その後、情報交換のための通信技術と、運転保安のための信号技術に分かれて発展した。電気鉄道は1895年に京都市で初めて直流500V方式により運転が開始され、近郊鉄道が相次いで開業している。また、国有として電気運転を行ったのは、甲武鉄道を買収した1906年の中央線御茶ノ水～中野間である。その後、輸送量の増加に伴い直流方式の1500V化と、商用周波単相交流20kVによる電化が実用化され、高速鉄道である新幹線誕生の原動力となった。

以来、電気鉄道は電気技術の重要な実用分野のパイオニア的役割を果たしている。近年、エレクトロニクス技術の進歩は著しく、電気車両、電力供給設備、信号保安装置、及び情報システムなどに積極的に新技術が取り入れられ、高速化や輸送力の増強などに貢献している。また、300km/hで高速走行する新幹線やリニアモーターを利用した鉄道、並びに各種の都市交通システムが次々と登場し、社会に大きな影響を及ぼしつつある。これらの鉄道は新しい技術に立脚したものが多く、それを支える技術者にとっては、勉学の機会を得ることと適切な技術資料の入手は必須の課題になっている。

こうした背景を考えると、新しい時代にマッチした電気鉄道技術に関する教育の在り方の検討と、その基本となるテキストの整備が急がれる。そのため、電気学会において「電気鉄道における教育調査専門委員会」を設置し、1996年4月から1998年3月にわたって、大学や鉄道事業者の教育の実情や教育への期待、教育にとりいれるべき新しい電気鉄道技術などについて調査を行った。

その結果、特に鉄道に携わる技術者において教育への期待が大きいことが明らかになり、新しい電気鉄道技術の調査結果について、鉄道関係の若い技術者の技術教育および第一線で活躍している技術者の周辺知識学習に資するため、ここに技術報告にかえて単行本としてまとめ、発刊することにした。

おわりに、執筆及び編集に携わられた諸氏に厚く御礼申し上げます。

2000年7月

電気鉄道における教育調査専門委員会

委員長 持永芳文

初版5刷（改訂版）によせて

初版1刷が刊行されて11年が経過した。本書は長く読んでいただけるように、基本的な事柄を述べているが、この間の進歩は目覚ましく、統計の数値の陳腐化や、法令（技術基準）の改訂、及び新しい技術開発などが行われた。

そこで、5刷（改訂版）に当たって、構成は変更せずに、一部の内容について新しく修正を行った。このことにより、最新の電気鉄道技術を理解していただく一助となれば幸いである。

2012年3月

持 永 芳 文

初版6刷（三訂版）によせて

初版1刷が発刊されて以来、座右の書として広く愛読され、17年が経過した。その間、5刷（改訂版）では法令（技術基準）の改訂、及び新しい技術開発などに関して、一部改訂を行った。

しかしながら、電気鉄道は電車の新たな駆動・制御技術、電車の速度向上と快適性の向上、省エネルギー技術、無線と情報通信、エレクトロニクス技術などを取り入れて、著しい進歩がみられる。

特に最近は、海外に向けての電気鉄道技術の積極的な展開が行われている。

以上のようなことを踏まえて、本書の構成は初版を踏襲しているが、陳腐化した内容を最新の内容に見直すとともに、海外展開について知っておくべき技術、及び我が国との相違について11章を中心に追加・修正を行った。本書が最新の技術の習得に役立つとともに、海外展開の一助となれば幸いである。

三訂版に当たり、元委員長である持永（1章、6章、9章、11.3項ほか全般）ほか、元委員（五十音順）である油谷浩助（3～4章）、白土義男（2.7項、7章）、曾根 悟（11章）、中村英夫（11章）、藤井保和（5章）、水間 毅（1.3項、9章）、宮地正和（8.1～8.3項）の諸氏ほかの皆様のご協力を得たことに感謝する。

2017年6月

持 永 芳 文

目 次

1. 総 論

1.1 情報化社会と交通システム	1
1.1.1 交通システムと情報化—社会・インフラとしての情報化	1
1.1.2 交通システムが取り入れるべき情報化	2
1.2 電気鉄道の歴史と活動分野	2
1.2.1 電気鉄道の歴史	2
1.2.2 電気鉄道の種別と電化方式	4
1.2.3 電気鉄道輸送の経済性	6
1.3 電気鉄道と環境調和	7
1.3.1 地球環境と電気鉄道	7
1.3.2 騒音と電気鉄道	8
1.3.3 電磁界と電気鉄道	9
1.3.4 環境との調和	11
1.4 鉄道事業制度と関連法規体系	11
1.4.1 鉄道事業制度	11
1.4.2 電気鉄道の技術基準	13

2. 線 路

2.1 線 路 一 般	16
2.1.1 線 路 の 意 義	16
2.1.2 線路構造の規格	16
2.1.3 軌 間	17
2.2 軌 道 構 造	17

2.2.1	レール	17
2.2.2	レール溶接	18
2.2.3	レールの継目	18
2.2.4	まくらぎ	19
2.2.5	レール締結装置	20
2.2.6	道床及び省力化軌道	21
2.3	曲線	22
2.3.1	曲線の種類と最小曲線半径	22
2.3.2	スラック	23
2.3.3	カント	23
2.4	分岐器	24
2.5	建築限界と車両限界	25
2.6	列車の走行安全性	26
2.6.1	曲線通過速度	26
2.6.2	乗り上がり脱線	27
2.7	列車防護	27
2.7.1	障害物検知装置	28
2.7.2	列車防護装置	28

3. 電気車の性能と制御

3.1	電気車の種類	32
3.2	性能と定格	33
3.2.1	電気車の特性と性能	33
3.2.2	定格と温度上昇	39
3.2.3	補助電源装置の選定	41
3.3	直流電気車の速度制御	42
3.3.1	直流電気車制御方式の変遷	42
3.3.2	電機子チョッパ制御	45
3.3.3	界磁添加励磁制御	46
3.3.4	インバータ制御	47

3.4 交流電気車の速度制御	58
3.4.1 交流電気車制御方式の変遷	58
3.4.2 サイリスタ位相制御	61
3.4.3 PWM コンバータ制御	65
3.5 ブレーキ制御	72
3.5.1 ブレーキシステムの要件と機能	72
3.5.2 ブレーキの種類	74
3.5.3 機械式ブレーキ	74
3.5.4 電気ブレーキ	79
3.5.5 電空協調制御	80
3.5.6 滑走現象と滑走再粘着制御	82
3.6 運転理論	83
3.6.1 運転性能	83
3.6.2 列車走行状態の解析	89
3.6.3 運転性能曲線	91
3.6.4 運転曲線図	94
3.6.5 電力消費	95
3.6.6 運転時隔	96

4. 電気車の機器と構成

4.1 電気車の主回路機器	98
4.1.1 直流電気車の主回路機器	98
4.1.2 交流電気車の主回路機器	102
4.1.3 交直流電気車の主回路機器	105
4.2 主回路以外の機器と補助電源	106
4.2.1 主回路以外の機器	106
4.2.2 補助電源装置	107
4.3 車両の情報と制御	107
4.3.1 モニタリングシステムの変遷	107
4.3.2 車両情報制御システムの機能と構成	108

4.3.3	車両情報制御システムの将来展望	113
4.4	車体と台車	113
4.4.1	台車構造からみた車両の種類	113
4.4.2	台車	114
4.4.3	車体	118
4.4.4	車体傾斜車両の方式	119
4.4.5	連結器と緩衝器	121
4.5	車両の保守	122
4.5.1	関係法令と検査体系	122
4.5.2	車両保守の目的	123
4.5.3	車両保守の実際	123
4.5.4	車両保守コストの低減	125

5. 集電システム

5.1	集電システム一般	126
5.1.1	集電システムの変遷	126
5.1.2	電車線の種類	127
5.1.3	集電装置の種類	131
5.2	カテナリ式電車線	132
5.2.1	構成要素	132
5.2.2	敷設要領	140
5.2.3	カテナリ式電車線の性能	143
5.3	パンタグラフの性能	146
5.3.1	共振速度	146
5.3.2	揚力特性	147
5.4	高速化	148
5.4.1	カテナリ式電車線	148
5.4.2	剛体式電車線	148
5.5	集電系騒音	149
5.5.1	集電系騒音の構成と性質	149

5.5.2	パンタグラフカバーの役割	150
5.6	電車線路の保全	150
5.6.1	保全方式	150
5.6.2	トロリ線の摩耗	151

6. 電力供給方式

6.1	電気方式	153
6.1.1	電気方式の種類	153
6.1.2	我が国の電気方式	154
6.2	直流き電回路	155
6.2.1	き電回路構成	155
6.2.2	線路定数と電圧降下	155
6.2.3	回生車両に適した直流き電システムの構成	158
6.3	直流き電用変電所	159
6.3.1	変電所の構成	159
6.3.2	直流変成設備	160
6.3.3	直流高速度遮断器	164
6.3.4	直流き電回路の保護	166
6.4	交流き電回路	170
6.4.1	各種き電方式と構成	170
6.4.2	線路定数	175
6.4.3	電圧降下と対策	179
6.5	交流き電用変電所	182
6.5.1	変電所の構成	182
6.5.2	き電用変圧器	182
6.5.3	異相区分方式	185
6.5.4	き電回路の保護協調	185
6.6	帰回路と誘導障害	192
6.6.1	レール電位と抑制	192
6.6.2	電食と電気防食	195

6.6.3	通信線への誘導障害	197
6.7	絶 縁 協 調	199
6.7.1	電気鉄道における絶縁協調	199
6.7.2	直流き電回路	199
6.7.3	交流き電回路	201
6.7.4	弱電回路との協調	203
6.8	電源との協調	204
6.8.1	高 調 波	204
6.8.2	電圧変動と無効電力補償装置による対策	208
6.9	電力系統制御システム	212
6.9.1	電力指令	213
6.9.2	連絡遮断装置	214
6.9.3	伝送方式	214

7. 信号設備

7.1	信号設備一般	216
7.1.1	信号設備の変遷	216
7.1.2	信号システムの構成とフェイルセーフ	220
7.1.3	信号設備のこれからの展望	221
7.2	自動信号設備	222
7.2.1	軌道回路	222
7.2.2	閉そく装置	230
7.2.3	転てつ装置	233
7.2.4	信号機	234
7.2.5	連動装置と鎖錠	236
7.3	自動列車保安装置	239
7.3.1	車内警報装置と自動列車停止装置	240
7.3.2	自動列車制御装置と自動列車運転装置	244
7.4	運行管理システム	253
7.4.1	列車集中制御装置 (CTC)	253

7.4.2	自動進路制御装置 (PRC)	254
7.4.3	総合運行管理システム	255
7.5	列車計画	256
7.5.1	列車計画の要素	257
7.5.2	列車ダイヤ	258
7.5.3	コンピュータによるダイヤ作成	259
7.6	踏切保安装置	261
7.6.1	踏切保安装置の種類	262
7.6.2	踏切保安装置の機能	262
7.6.3	踏切保安装置の制御	264
7.7	信号用電源	266

8. 通信と営業サービス

8.1	鉄道の通信網	268
8.1.1	鉄道通信の沿革	268
8.1.2	鉄道における情報	269
8.1.3	鉄道における電話網	269
8.2	鉄道における移動無線通信	271
8.2.1	新幹線の列車無線	271
8.2.2	普通鉄道の列車無線	272
8.2.3	防護無線	273
8.3	旅客案内設備	274
8.3.1	電気掲示器	274
8.3.2	電気時計	275
8.3.3	自動放送装置	275
8.3.4	ITV	276
8.3.5	列車内における旅客案内	277
8.4	旅客営業システム	277
8.4.1	旅客販売システム	278
8.4.2	自動出改札システム	282

8.5 貨物関係情報システム	284
8.5.1 貨物関係情報システムの沿革	284
8.5.2 貨物情報ネットワークシステム (FRENS) 及び IT-FRENS & TRACE	285
8.5.3 貨物関係業務を支援するその他のシステム	286

9. 都市交通システム

9.1 都市交通システムの体系	288
9.1.1 各種都市交通システム	288
9.1.2 都市交通システムの評価	289
9.2 路面電車・LRT システム	290
9.3 案内軌条式新交通システム	292
9.3.1 支持・案内方式	292
9.3.2 電気方式	292
9.4 車輪支持リニアモーターカー	294
9.4.1 車上一次方式	295
9.4.2 地上一次方式	296
9.5 単軌鉄道 (モノレール)	297
9.5.1 構造	297
9.5.2 駆動方式	298
9.6 登山鉄道	298
9.6.1 鋼索鉄道 (ケーブルカー)	298
9.6.2 普通索道 (ロープウェイ)	299
9.6.3 齒軌条鉄道 (アプト式鉄道)	299
9.7 スカイレール	299
9.8 無軌条電車 (トロリバス)	300
9.9 電気自動車	300
9.9.1 純電気方式電気自動車	301
9.9.2 ハイブリッド方式電気自動車	302
9.9.3 燃料電池自動車	302

9.10 エレベータ・エスカレータ	303
9.10.1 ロープ式エレベータ	303
9.10.2 油圧式エレベータ	304
9.10.3 エスカレータ	304

10. 磁気浮上式鉄道

10.1 超電導磁気浮上式鉄道	306
10.1.1 開発の経緯と現状	306
10.1.2 超電導磁気浮上式鉄道の特徴	307
10.1.3 超電導磁気浮上式鉄道の駆動・浮上・案内方式	307
10.1.4 超電導磁気浮上式鉄道のシステム構成	311
10.1.5 山梨実験線	312
10.2 常電導磁石電磁吸引浮上	317
10.2.1 HSST	317
10.2.2 トラン斯拉ピッド	318

11. 海外の電気鉄道との比較及び海外展開に向けて

11.1 高速鉄道と都市鉄道を主な比較対象にする理由	320
11.1.1 世界の高速鉄道技術保持主要国とその技術内容	321
11.1.2 世界の都市鉄道技術保持主要国とその内容	322
11.2 我が国の鉄道車両（完成車両と要素技術）の特徴と位置づけ	323
11.3 我が国の線路・き電方式の特徴と位置づけ	325
11.3.1 我が国の線路の特徴と位置づけ	325
11.3.2 電車線路電圧	326
11.3.3 交流き電方式のき電回路	327
11.3.4 レール電位と低減対策	329
11.3.5 集電システム	331
11.4 我が国の信号システムの特徴と位置づけ	333

11.4.1	信号システムとその変遷	333
11.4.2	ATS/ATC に対する我が国とヨーロッパの差異	335
11.4.3	単線並列運転に対する考え方の相違	336
11.4.4	信号設備に対する接地方式の相違	337
11.4.5	ヨーロッパ統一システムを目指す ETCS と現状	337
11.4.6	新しい列車制御 CBTC	339
11.4.7	国際規格と信号システム	340
11.5	海外展開に向けて	340
11.5.1	鉄道に関する常識の違いを乗り越える必要性	340
11.5.2	相手国のニーズを知りそれに合わせる工夫	341
11.5.3	ヨーロッパの3大メーカーなどとの関連	342
付	録	345
引用・参考文献		348
索	引	349

1 総 論

1.1 情報化社会と交通システム

1.1.1 交通システムと情報化 — 社会・インフラとしての情報化

パーソナルコンピュータ（以下、パソコン）の発達とともにマルチメディアの導入が図られ、情報通信に対するニーズは高度化かつ多様化している。特に、電波を用いる無線通信の高度化と普及には目覚ましいものがあり、移動体通信システムとしての携帯電話は著しい普及を遂げ、社会生活に不可欠なものになっている。さらに、デジタル技術の進展によりアナログ時代には想像できなかった、多チャンネル、高品質、高速度の伝送が可能となっている。

情報化が進めば、わざわざ出掛けなくてもかなりの用が足せるから、情報化社会では交通の需要は減少するという意見は今でも聞かれる。確かに在宅勤務とか、テレビ会議などが普及するとそのように思えるのであるが、交通と通信との関係にはこのような代替性ととも、一方が進めばそれについて他方も進むという相互依存性もあり、過去の例では常に相互依存性が上回ってきた。電話の交換が人の手を離れ、全国即時通話が達成された頃の日本電信電話公社（現日本電信電話株式会社、NTT）の標語に「テクテク行くよりモシモシ電話」というのがあったが、電話が便利になったおかげで交通需要も急増したのである。

情報化社会での交通を考える際の重要なポイントは「通信では代替できない種類の交通が主体になっている」ということである。このことは、単に用件を伝えるための移動が減り、そのほかもろもろの目的を伴った移動が増えること

を意味する。つまり、移動目的の多様化であり、当面のビジネスは通信で済ませても時には懇親のために顔を合わせるといった具合に、交通需要の弾力性が増し、より質の高いサービスが旅客を集める要素として増していくのである。

1.1.2 交通システムが取り入れるべき情報化

一方、交通システム自体がその運営や経営のために積極的に情報化を取り入れるべき点が少なくない。

情報化が未成熟な時代にはそれでも運営ができるように、組織や機能を分化しそれぞれが自律的に動けるように仕組まれてきた。列車はあらかじめ決められた編成で、決められたダイヤに従って走り、遅れれば遅れを取り戻すように可能な範囲で速く走ることになる。この時代には、列車をダイヤどおりに走らせることができれば満点の評価になった。

情報化時代には上記のことは必ずしも正しくない。混んできたら長い編成に置き換えるとか、電圧降下が大きい場合には加速電流を絞って走るとか、遅れている場合でも速く走っても結果的に無駄になる列車はゆっくり走るとかいう気の利いたことは情報化時代でないと実現できない。最終的な目的は列車を走らせることではなく、旅客や貨物を運ぶことであるから、ダイヤどおりに走ることが必ずしもベストとは限らない。

このようなことを考えると、組織や機能の見直しを含めて、これまで相互に情報交換がなかったために実現できなかった場面での改善の種がたくさん出てくる。つまり、目的をはっきりと見据えた統合インテリジェント化が情報化時代の運営の良否の鍵を握ることになる。

1.2 電気鉄道の歴史と活動分野

1.2.1 電気鉄道の歴史

鉄道は、18世紀末に英国の炭鉱に設けられた木軌道からしだいに進化し、今日の鉄道方式になっている。

電気鉄道は、1835年に米国でダベンポート（T. Davenport）がボルタ電池を

用いた電車の模型を製作し一般の観覧に供したことに始まる。電気鉄道が実用化されたのは、1879年にベルリン工業博覧会において、直流150V・2.2kW・2極直流電動機による機関車で6人乗り3両の客車をけん引して、時速12kmで運転されたことに始まる。その後、1881年にシーメンス・ハルスケ(Siemens Halske)社がリヒテルフェルデ(Lichterfelde)に電気鉄道を敷設し、一般旅客の輸送を開始したのが営業運転の最初である。

我が国では、1890年に上野公園で第3回内国勸業博覧会が開催されたときに、会場に設けられた軌道に、東京電燈技師長の藤岡市助博士がスプレーク式電車を走らせたのが最初である。その後、1895年に京都市で直流500V方式の電気鉄道の営業が開始され、明治の末から大正初期にかけて、中京・京浜・京阪神地方において都市高速鉄道が相次いで開業されている。

蒸気機関車けん引でスタートしたロンドンの地下鉄なども早い時代に電化された。我が国でも甲武鉄道が1904年に蒸気鉄道の第1号の電化(直流600V)を行い、2年後の1906年10月に逓信省鉄道局が中央線御茶ノ水～中野間を買収し、国有として初めての電化となった。また、1904年に飯田町～新宿間で円板式信号機による自動閉そくが実施されている。しかし、その後の輸送量の増加に伴って1914年に京浜線品川～横浜間が1200Vで電化が採用された。さらに1923年に大阪鉄道^{ぬのせ}布忍～大阪天王寺間が初の1500V方式となり、同時に既設線の布忍～道明寺間も1500Vで電化された。次いで1925年12月に東海道線横浜～国府津間を1500Vで電化したのを機に、直流電気鉄道の標準電圧は1500Vとなり、順次昇圧されて今日に至っている。

一方、第二次世界大戦後の1950年頃からの輸送量の増加に伴って電気車も大出力になり、直流1500V方式の限界が予想された。そこで、ドイツが基礎を構築し、当時フランス国鉄が試験を進めていた商用周波数による交流電化方式の研究が我が国でも進められ、1957年に仙山線仙台～作並間、及び北陸線田村～敦賀間が商用周波数20kVのBTキ電方式で、電気機関車により営業運転が開始された。また、半導体技術の進歩に伴って、1960年頃から交流電気車や直流変電所にシリコン整流器が使用されるようになった。その後、都市間

の高速鉄道として東海道新幹線が計画され、使用実績のあるBTき電方式により1964年に開業し、電車運転による210 km/hの高速鉄道が誕生した。さらに、東海道新幹線では電子機器によるATC及びCTCの導入により高速運転での安全確保が図られた。

しかし、電気車が大容量集電を行うためBTセクションが複雑になり、保守が困難になるなどの問題が発生した。そのため、ATき電方式が開発され、1970年の鹿児島線八代～西鹿児島間の電化、1972年の山陽新幹線新大阪～岡山間開業に適用され、交流電化の標準方式となった。さらに、新幹線における用地が狭小な地区に適するき電方式として、同軸ケーブルき電方式が開発され、1987年の東海道新幹線き電設備更新、及び1991年の東北新幹線東京乗入れて、東京地区に本格的に採用されている。

近年、パワーエレクトロニクス技術の進展により、従来の直流電動機から誘導電動機を用いた電気車の開発が進められ、軽量・高粘着・省保守性のため、現在新しく製作される電気車は直流き電方式、交流き電方式を問わずほとんどがこの方式である。さらに、電力供給設備においても、回生車対策や電圧安定対策にパワーエレクトロニクス技術が取り入れられている。

東海道新幹線の成功により、フランス国鉄でTGV大西洋線が1990年から300 km/hの営業運転を行うなど、各国で鉄道の高速度の機運が高まってきた。我が国でも、1990年から上越新幹線がサイリスタ位相制御電車によりトンネル区間で275 km/h運転を行っている。さらに、誘導電動機駆動電車により1992年から東海道新幹線で270 km/hの営業運転が、1997年から山陽新幹線で300 km/hの営業運転が開始された。その後、2013年3月からは東北新幹線でE5系電車による320 km/hの営業運転が行われている。今や、電気鉄道は300 km/hの時代であるといえる。

1.2.2 電気鉄道の種別と電化方式

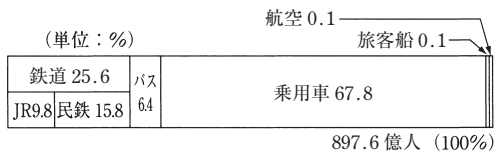
(1) 旅客・貨物輸送の機関別シェア 2009年度の旅客輸送の分野別分担率を図1.1に示す。全輸送人員は897.6億人で、全輸送人キロは13691億人キロである。これより、輸送分担率は乗用車が約67.8%を占め、鉄道は約

25.6%であることがわかる。

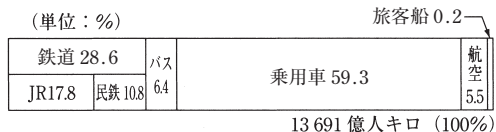
一般に、我が国の主要輸送機関における旅客輸送の、乗車距離に対する輸送機関別のシェアでは、鉄道輸送は大都市圏の通勤輸送と、中距離の都市間輸送に占める割合が多い。

一方、我が国の貨物の全輸送量は48.3億トンで、このうち、鉄道輸送は0.9%であり、シェアは小さい。また、全輸送トンキロは5236億トンキロで、鉄道輸送は3.9%であり、輸送キロは長い。

(2) **電気鉄道の種別** 電気鉄道は、輸送量、運転距離、運転速度、交通機関としての使命などにより、概略表1.1のように分類できる。将来の鉄道を担う分野としては、大都市を中心とする輸送、都市周辺及び都市間の高速旅客輸送、及び大量定形貨物輸送が主になるとと思われる。



(a) 全輸送人員



(b) 全輸送人キロ

図 1.1 旅客輸送の分野別分担率 (2009 年度)

表 1.1 電気鉄道の種別

都市鉄道	市街鉄道 都市高速鉄道 近郊・通勤鉄道	路面電車、LRT 地下鉄、モノレール、新交通システム 電車を主とする高加減速列車
都市間鉄道	都市間鉄道 幹線鉄道	高速旅客列車 大編成または高速貨物列車
特殊鉄道	専用鉄道 登山鉄道 観光用鉄道	森林、鉱山、港湾 ラック鉄道、鋼索鉄道、架空索道 トロリバス

(3) **電化方式** 鉄道電化による動力近代化が進められている。表1.2は最近の世界における鉄道電化の状況である。世界の鉄道の総延長は約140万(都市交通を除き約120万km)kmで、このうち約26%(都市鉄道を除く)が電化区間である。海外では、直流が3000V、交流が25kVが主流であるが、

索引

		荷重曲線	91	クロスボンド	194
		加速度	89		
		加速力	89		
【あ】		加速力曲線	91	【け】	
合 図	217	滑 走	82	ケーブルカー	298
アーク電圧	165	カタナリ式電車線	127	減速度	89
		可動ブラケット	134	建築限界	25
		貨物情報ネットワーク			
【い】		システム	284	【こ】	
異周波混触保護	192	緩衝器	122	高圧母線 (引通し)	9, 102, 126, 148, 333
異相区分セクション	140	カント	23	高速度真空遮断器	166
異相短絡保護	187			剛体式電車線	129
移動閉そく	232	【き】		高調波	204
インバータ制御	44, 47	軌 間	17	交直区分用セクション	140
インピーダンスボンド	226	帰線自動開閉装置	197	高抵抗地絡	169
		ぎ 装	119	勾配抵抗	86
		基礎ブレーキ	78	交番検査	123
		気中式遮断器	165	交流軌道回路	225
		き電区分所	155, 173	交流 ΔI 形故障選択継電器	
		き電線	134		189
		き電ちょう架式電車線	129, 134	故障点標定装置	170, 190
		軌 道	16	固定閉そく	231
【う】		軌道回路	222	混合ブリッジ方式	61
渦電流式ブレーキ	80	軌道法	12	コンパウンドカタナリ	129
運転曲線図	94	キャリヤ位相差運転	68		
運転時隔	96	共振抑制用 HMCR 装置	208	【さ】	
運転性能	83	曲 線	22	再粘着制御	56
		曲線抵抗	87	サイリスタ位相制御	61
		曲線引金具	137	サイリスタインバータ	158
【え】		距離継電器	187	サイリスタ整流器	163
エアセクション	138	切替開閉器	185	サイリスタチョップ抵抗	
永久磁石同期電動機	38	切替開閉器故障検出継電器			159
エスカレータ	304		192	サ グ	145
エネルギーの使用効率	7	【く】		鎖 錠	236
エレベータ	303, 304	空 気ブレーキ	74	座席予約システム	279
遠方監視制御装置	213	クエンチ	311	サードレール	129
				三重き電方式	312
【お】				三相交流き電方式	154
温度上昇限度	41, 142				
【か】					
界磁制御	42				
界磁チョップ制御	44				
界磁添加励磁制御	44, 46				
回生高電圧絞込み制御	57				
回生失効	158				
回生ブレーキ	79				
開電路式	223				

三巻線スコット結線変圧器	3	レベルインバータ	45		
	183				
		【せ】			【ち】
【し】		制御車	32	地上子	241
仕業検査	123	静止形無効電力補償装置	210	ちょう架線	134
軸重補償	118	静電誘導	197	超低床式車両	290
自動再閉路	167, 188	制輪子	78	超電導磁石	313
自動出改札システム	282	整流子電動機	328	張力自動調整装置	137
車上子	241	セクション	138	直接き電方式	171
車体傾斜車両	119	セクションオーバ	167	直接ちょう架式	127
車両限界	25	絶縁協調	199	直流通道回路	225
車輪径差	37	絶縁変圧器	267	直流3kV方式	326
車輪支持リニアモーターカー	294	接地継電器	169	直流電動機	36
		接地装置	102, 105	直流フィルタ	205
車輪踏面	114	線条変圧器	266	直列コンデンサ	180
従属信号機	235	全般検査	124	直角カルダン方式	117
縦続接続	65	せん絡保護方式	203		
集中動力車	322	線路インピーダンス	177	【つ】	
集電靴	98, 131	線路定数	156	ツインシンプルカタナリ	129
集電装置	98			つりかけ式	116
主信号機	235	【そ】		2レベルインバータ	45
出発抵抗	85	騒音	8		
主変圧器	103	走行抵抗	85	【て】	
純ブリッジ方式	61	操舵台車	114	定位	238
障害物検知装置	28	速度-距離曲線	92	定格	39, 161
上下一括き電方式	158	速度センサレスベクトル制御	51	抵抗制御	42
常電導吸引式浮上案内	318	速度-引張力特性	33	低周波交流き電方式	328
常用ブレーキ	73	側壁浮上方式	309	ディスクブレーキ	78
シリコン整流器	161			停電検知	71
自励式無効電力補償装置	210	【た】		定電力領域	33
		対称制御	61	定トルク領域	33
新交通システム	292	大地帰路インピーダンス	175	鉄道営業法	12
シンプルカタナリ	128	脱線係数	27	鉄道事業法	12
		タップ制御	59	鉄道電話交換網	269
【す】		多電気式(車両)	105	ΔI 形故障選択継電器	168
吸上変圧器	171	単軌条式軌道回路	223	電圧降下	157, 179
推進コイル	307	単線並列	336	電圧不平衡	209
推定短絡電流	164	単相変圧器	327	電圧変動率	162
スカイレール	299	ダンピング制御	57	電気揭示器	274
スコット結線変圧器	183	単巻変圧器	172	電機子チョップパ制御	44, 45
スラック	23			電気自動車	300
スラブ軌道	22			電気時計	275
すり板	131			電気防食	196

電磁吸着式レールブレーキ	79	波動伝搬速度	143	ベクトル制御	49, 50
電子閉そく装置	231	反位	238	ヘビーコンパウンドカタナリ	129
電車線路がいし	202	ハンガ	136	ヘビーシンプルカタナリ	129
電磁界	9	パンタグラフ	98, 131	変形ウッドブリッジ結線	183
電磁誘導	198	——の共振	146	変圧器	183
電食	195	パンタグラフカパー	150	変形Y形シンプルカタナリ	129, 332
転てつ器	233	パンタグラフ揚力	147		
電動車	32				
転流失敗	63	【ひ】		【ほ】	
電流増加率	164	非常ブレーキ	73	保安ブレーキ	73
電力消費率	96, 160	非対称制御	61	ホイールインモータ	301
		引張力性能	83	方面別異相き電方式	174
【と】		ビートレス制御	70	防護無線	273
同軸ケーブルき電方式	173	ビーム	134	放電装置	183
道床	21	ビューゲル	131	ボギー車	113
特性領域	33	標識	217	ボギー台車	114
突進率	164	標準電圧	155, 174	ボギー	145
トラバサ分岐方式	312	避雷器	98, 200, 202	保護接地スイッチ	103
トランスポンダ	243			保護動作	58, 72
トランスラピッド	318	【ふ】		補助き電区分所	173
ドロップ	136	フェイルセイフ	220	補助ちょう架線	134
トリリ線	134	複軌築式軌道回路	223	補助電源装置	107
——の押上量	144	浮上コイル	309	舗装軌道	22
——の偏位	141	付随車	32	ホームドア	31
トリリバス	300	不等辺スコット結線変圧器	184	ボルスタ付台車	114
トンネル抵抗	87	踏切警報機	262	ボルスタレス台車	114
		踏切支障報知装置	263		
【ぬ】		踏切遮断機	262	【ま】	
ヌルフラックス案内方式	310	踏切障害物検知装置	264	埋設地線	328, 337
		フライホイールポスト	158	まくらぎ	19
【ね】		フラット	82	摩耗	151
粘着係数	84, 88	振り子式(車両)	119		
		振止金具	137	【み】	
【の】		ブレーキ距離	243	脈流率	104
ノッチ曲線	33	ブレーキ性能	87		
		分岐器	24, 233	【む】	
【は】		分散動力	324	無絶縁軌道回路	226
歯軌条鉄道	299			【も】	
波状摩耗	152	【へ】		モニタリングシステム	107
バッテリーポスト	158	平行カルダン方式	116	モノレール	297
発電ブレーキ	79	閉電路式	223		
		並列コンデンサ	206		

【ゆ】		【る】	レール電位	192
誘導集電	314	ルーフ・デルタ結線変圧器	レール電位抑制装置	194
誘導電動機	36		連結器	121
ユレダス	29		183	113
		【れ】	連接車	113
【よ】		列車ダイヤ	258	236
要部検査	123	列車短絡感度	229	330, 337
		列車抵抗	84	236
【り】		列車防護装置	28	214
リアクションプレート	295	列車無線	271	
リニア地下鉄	295	レール	17	【ろ】
リニア（同期）モータ	306	レール継目	18	漏えい同軸ケーブル
輪 軸	114	レール締結装置	20	271
				ロープウェイ
				299
				ロングレール
				18
【A】		【G】	PHC トロリ線	136
ACVR	181	GSM-R	338	PRC
ATACS	248	GTO 遮断器	165	254
AT き電方式	172			PWM コンバータ
ATC	244	【H】		65
ATO	251	HMCR 装置	208	PWM 制御
ATP	240	HSST	317	53
ATS	240	【I】		【R】
		ICE	331	RPC
【B】		【L】		212
BT き電方式	171	LCX	271	RPCD
		LIM	306	195
【C】		LRT	290	【S】
CBTC	248, 339	LRV	290	SIV
CS トロリ線	136	LSM	306	107
CTC	253			SP-SVC
		【M】		181
【E】		MARS	279	【T】
EGS	103	MG	107	TD 継手
ETCS	338	【P】		117
ETR	333	PC まくらぎ	19	329
				【V】
【F】				V/f 一定・滑り周波数制御
FRENS	284			49
				VVVF インバータ装置
				100
				VVVF 制御
				44
				【W】
				WN 継手
				117

最新 電気鉄道工学(三訂版)

Latest Technologies of Electric Railway (Third Revised Edition)

© 一般社団法人 電気学会 2000

2000年9月11日 初版第1刷発行
2012年3月15日 初版第5刷発行(改訂版)
2017年8月20日 初版第6刷発行(三訂版)

検印省略

編者 一般社団法人 電気学会
電気鉄道における教育
調査専門委員会
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 美研プリンティング株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-00900-2 C3054 Printed in Japan

(新井)



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。
購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。