

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.28 (1996) No.3

鉄道システムのエンジニアリングおよびその建設

Engineering and Construction for Railway Project in Southeast Asia

一ノ瀬 満郎(Mituo Ichinose) 小松 重之(Shigeyuki Komatsu) 大関 浩(Hiroshi Ozeki)

要旨：

川崎製鉄は千葉、水島両一貫製鉄所の建設、運営を通じて培ってきた計画、設計、施工、保守といった鉄道に関する技術をもとに国内外の鉄道建設プロジェクトに参画してきた。特に、インドネシア、フィリピンといった東南アジアでは土木、建築、軌道、電気、信号、通信、機械といった鉄道システムを構成する専門技術を包括した一括発注型鉄道プロジェクトを実施してきた。本報でわ、川崎製鉄の鉄道建設技術の沿革・展開を紹介し、インドネシアで実施した一括発注型鉄道プロジェクトでの例を引きながら、鉄道システムの設備構成を概説するとともに、鉄道システムの特殊性を考慮した鉄道設備のエンジニアリングとその建設について述べた。

Synopsis：

Kawasaki Steel has executed several railway construction projects, both in Japan and overseas, based on the construction experiences of its own integrated steel mills which included railway systems for bulk materials transportation. This report describes Kawasaki Steel's development of railway construction and engineering and railway systems for tracks, electric facilities, signals and telecommunication, by referring to executed projects for Indonesian National Railways.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Engineering and Construction for Railway Project in Southeast Asia



一ノ瀬 満郎
Mitsuo Ichinose
エンジニアリング事業
本部 建設事業部 建
築技術部 主査(課長)



小松 重之
Shigeyuki Komatsu
エンジニアリング事業
本部 製鉄・プラント
事業部 鉄鋼技術部制
御技術室 主査(課長)



大関 浩
Hiroshi Ozeki
エンジニアリング事業
本部 建設事業部 土
木技術部 主査(課長
補)

要旨

川崎製鉄は千葉、水島両一貫製鉄所の建設、運営を通じて培ってきた計画、設計、施工、保守といった鉄道に関する技術をもとに国内外の鉄道建設プロジェクトに参画してきた。特に、インドネシア、フィリピンといった東南アジアでは土木、建築、軌道、電気、信号、通信、機械といった鉄道システムを構成する専門技術を包括した一括発注型鉄道プロジェクトを実施してきた。本報では、川崎製鉄の鉄道建設技術の沿革・展開を紹介し、インドネシアで実施した一括発注型鉄道プロジェクトでの例を引きながら、鉄道システムの設備構成を概説するとともに、鉄道システムの特長性を考慮した鉄道設備のエンジニアリングとその建設について述べた。

Synopsis:

Kawasaki Steel has executed several railway construction projects, both in Japan and overseas, based on the construction experiences of its own integrated steel mills which included railway systems for bulk materials transportation. This report describes Kawasaki Steel's development of railway construction and engineering and railway systems for tracks, electric facilities, signals and telecommunication, by referring to executed projects for Indonesian National Railways.

1 はじめに

東南アジア各国では、急激なモータリゼーションの発達に伴う都市部での交通渋滞の慢性化が、社会・経済問題のみならず、燃料の濫費や排気ガスの問題など、エネルギー・環境問題にもなってきている。エネルギーを含めた輸送効率、大量輸送、環境の各面からみて、鉄道による旅客・貨物の輸送が有利かつ有効であり、上記各国で鉄道の有効活用への見直しがなされ、既存線の改修、増強など数多くのプロジェクトが進められている。

川崎製鉄は自社製鉄所の建設を通じて、製鉄所内物流の主たる設備である鉄道設備の計画、設計、施工、保守の各段階の技術を培ってきた。鉄道システムは土木、建築、軌道、電車線、変電、信号、車両、機械および運行管理といった多くの専門的技術から構成される総合システムであり、川崎製鉄は製鉄所の建設をはじめとして国内外での豊富なプラント建設経験を有し、土木、建築、電気、計装、機械、ユーティリティーなどからなる複合工事の建設能力も高い。この鉄道システムやプラントの建設技術をもとに、1987年以來インドネシア・フィリピンで土木、建築、軌道、電車線、電力線、変電、信号、通信の各工事を総合した一括発注型鉄道プロジェクトを受注・実施してきた。

本報では、川崎製鉄の鉄道建設技術の沿革・展開を紹介し、インドネシアで実施した一括発注型鉄道プロジェクトでの例を引きながら、鉄道システムの設備構成を概説するとともに、鉄道システムの特長性を考慮した鉄道設備のエンジニアリングとその建設について

述べる。

2 川崎製鉄の鉄道技術

川崎製鉄は1951年以來、千葉製鉄所(敷地面積872万m²)と水島製鉄所(敷地面積1128万m²)の2つの一貫製鉄所を建設してきた。製鉄所では広大な敷地において重量物を大量に輸送する必要があり、特に、溶鉱炉から製鋼工場への溶銑輸送、製鋼工場から圧延工場へのスラブ輸送では鉄道に替わる輸送方法はなく、製鉄所内物流における鉄道の寄与は大きい。製鉄所内での線路建設総延長は両製鉄所を合わせて220kmに達する(Photo 1)。



Photo 1 Railway in Mizushima Works

* 平成8年10月8日原稿受付

このように、川崎製鉄は製鉄所の建設、運営を通じて、鉄道建設に関し、工場レイアウトや輸送計画に基づいた配線計画、計画に基づいた土木、軌道、信号保安の各々に関する設計、建設および保守に関する技術を培ってきた。

1980年代に入ってから、製鉄所建設で培った鉄道技術を国内外の社外プロジェクトへの活用を図ってきている。現在までの工事実績を竣工年と工事場所とあわせて以下に示す。

- (1) ニューセントアンドリュースゴルフ場, Personal rapid transit system 建設 (1985年, 栃木県)
- (2) 大井川アプト式鉄道建設 (1988年, 静岡県, **Photo 2**)
- (3) ゴールデンレイクスゴルフ場, Personal rapid transit system 建設 (1990年, 栃木県)
- (4) インドネシア国鉄検車庫建設 (1991年, インドネシア,

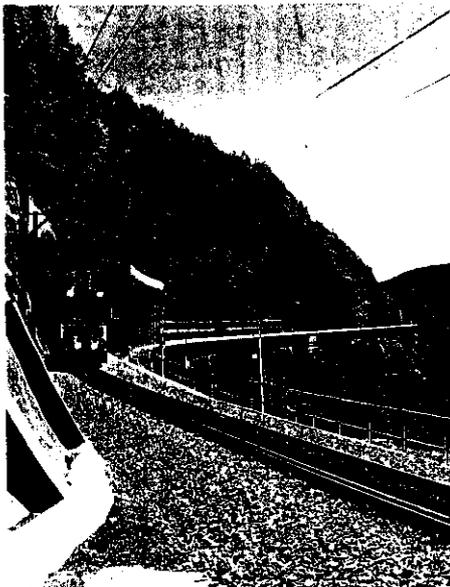


Photo 2 Oigawa Abt system railway

Photo 3)

- (5) フィリピン国鉄車両修理工場建設 (1990年, フィリピン)
- (6) インドネシア国鉄中央線高架化 (1993年, インドネシア,

Photo 4)

- (7) インドネシア国鉄中央線信号化 (1994年, インドネシア)
- (8) インドネシア国鉄プカシ線信号化 (1994年, インドネシア)
- (9) インドネシア国鉄ボゴール線信号化 (1994年, インドネシア)

上記の中で、(6)~(9)の工事が土木、建築、軌道、電車線、変電、通信、信号と鉄道設備のほとんどを網羅した総合プロジェクトである。その(6)~(9)の工事で実施した工事内容を Fig. 1 と Table 1 に示す。

3 鉄道の特質および鉄道設備の特徴

鉄道は一般に「陸上交通機関として一定の敷地を専有し、レール、まくら木、道床などによって構成される軌道の上に、機械的、電気的動力を用いた車両を運転して、旅客や貨物を運ぶもの」と定義されて



Photo 3 Construction of depot in Jakarta, Indonesia

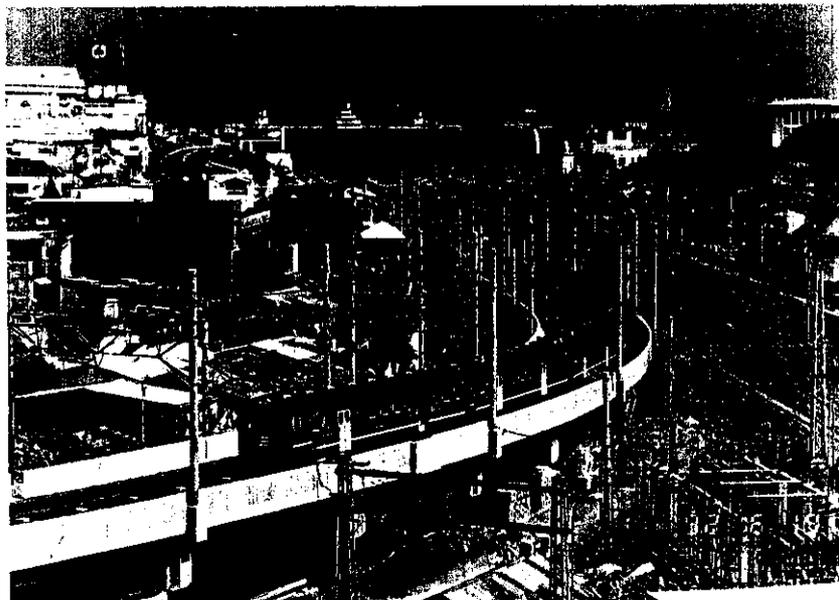


Photo 4 Elevated railways in Jakarta, Indonesia

いる²⁾。すなわち、鉄道の特質は「専用」の「鋼レール」の上を「鋼車輪」を持つ「車両」が走行することである。この鋼レールは列車の走行用だけでなく、電車線や信号設備の一部を構成する。

また、鉄道は一般に公共輸送機関であるがために、設備には高い信頼性が要求されるとともに、設備の特質として、一部の故障が全体に影響を与えるため、問題が生じても列車運行に対する影響が無いか、最小限になるように設備またはシステム設計がなされなければならない。また、列車は鉄道（軌道）上のみを専有して走行し、Fig. 2 に示すように変電、電車線、信号、通信といった鉄道設備も軌道に並行して設置され、かつ鉄道専用の独立した設備となっている。

鉄道設備の主な構成要素として、列車が走行する施設を軌道設備、列車が電気運転を行うための変電設備と電車線設備を合わせて電気運転設備、列車の衝突、追突防止のための信号設備と連絡、監視、データ通信のための通信設備を合わせて運行管理設備と呼ぶ。

4 軌道設備

列車を走行させる軌道は道床、枕木、レールとその付属品から構成される。道床は砂利・採石などのバラストのことであり、列車からの荷重を広く分散して路盤に伝え、列車の左右動や温度によるレールの伸縮による枕木の移動を防ぐほか、列車による振動エネルギーを吸収し、雨水の排水を容易とし、雑草の育成を防止する。枕木は左右のレールの軌間を保ち、レールが受けた列車の荷重を道床に分布させ、レールは列車の重量を直接支え、円滑な走行面を持ち車輪が脱線しないように案内し、動力電流の帰路と信号電流の軌道回路を形成する。また、1つの線路を2つの方向に分ける分岐器も主要な構成要素である。

5 電気運転設備

電車の運転を行うためには、一般電力システムの電力を電気運転に適した形に変成する変電所と、変電所から電力を電車に供給する電車線路が必要で、これらを電気運転設備と呼ぶ。変電所から電車線路を経て電車に給電する回路をキ電系統と呼ぶ。キ電系統には大別して直流と交流の2種類がある。ここではインドネシアでの実施例を引用するため直流電気運転設備について述べる。直流の特徴はスタート時に大きな牽引力が出せる直流直巻電動機を使用していることと、鉄道線路に近接している通信線・信号線への誘導障害が生じないことである。鉄道においては現在 DC 1500 V が一般的である。

電気運転設備の特徴を記すと以下の通りである。

- (1) 電車が走行する鋼製レールが電気回路を構成する要素となっている。
- (2) 電車の運転状況に応じた負荷の変動と移動が激しく、過負荷対応の設備となっている。
- (3) 電車の運行を中断しないように冗長性のある設備構成をとっているか、事故が生じても対策が取りやすい監視・バックアップ機能を盛り込んだ機能を配置している。

5.1 変電設備

直流変電設備は、電力会社から三相交流高圧で受電し、これを変圧器で適当な電圧に下げ、整流器によって直流に変換して、電車線路に給電するものである。

変電所の出力及び設置位置は、車両条件・車両編成・運転ダイヤや勾配等の線路条件から決定される負荷容量、電圧降下限度に加え

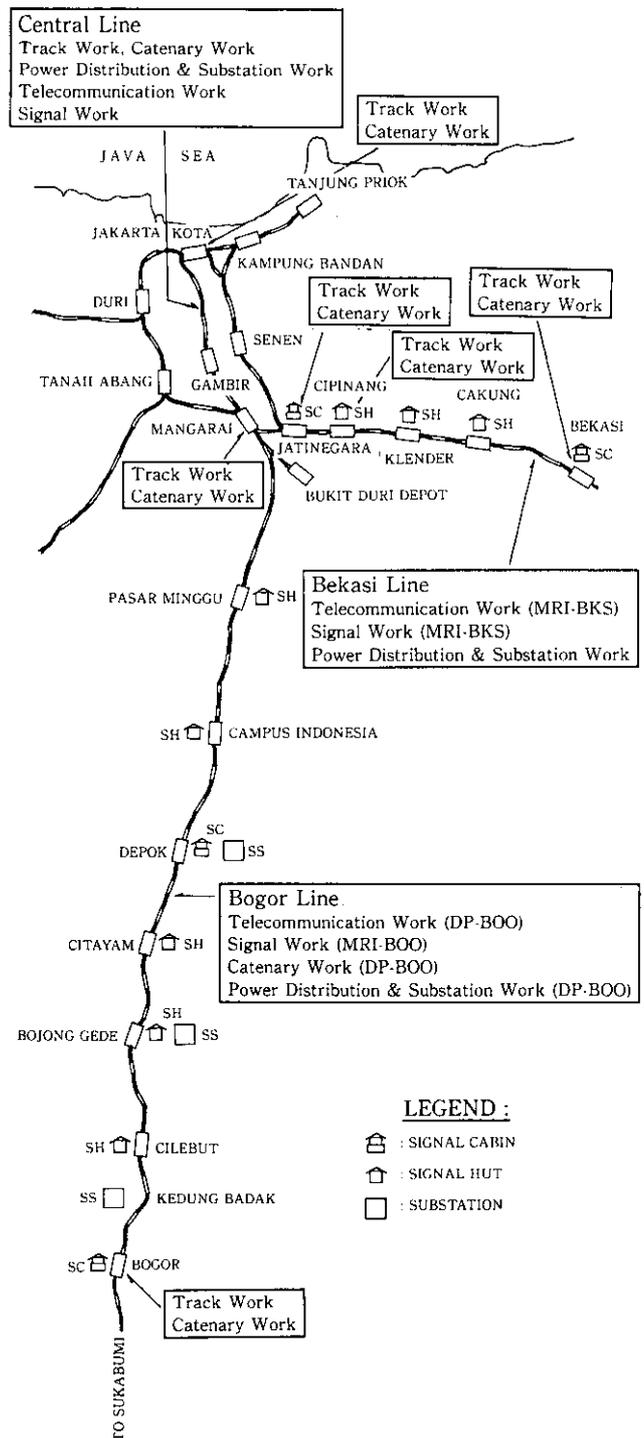


Fig. 1 Map for Indonesian Railways project

電力会社からの送電系統、運用・保守、将来予測を考慮して決定される。一般的に変電所は5～10 km 置きに設置される。

東南アジアの気候は概して高温多湿であり、雷の頻度も高く、電気機器に対して厳しい条件である。また、小動物などの侵入にも十分な予防措置を施す必要がある。今回の設計に対する環境条件は下記の通りである。

最高温度：40℃ 最低温度：20℃ 平均温度：28℃
最高湿度：95%

変電所の機器構成は①受電設備、②主変圧器、③整流器、④直流キ電設備、⑤負極盤、⑥所内用変圧器盤、⑦所内用制御電源盤、⑧

Table 1 Major work item and volume

Project	Track work		Electrical work			Signal and telecom.	
	Track panel (m)	Railway switch (unit)	Substation (O/I)C (set)	Substation (signal) (set)	Trolley wire (m)	Interlocking system (set)	Telecom. cable (m)
Jabotabek Central Line track elevation	19 600	9	3	2	20 300	1	10 500
Jabotabek Central Line signalling project	5 890	67			380	2	910
Jabotabek Bogor Line signalling project	1 220	11	1	2		2	28 500
Jabotabek Bekasi Line signalling project	2 940	28				3	350
Total	29 650	115	4	4	20 680	8	40 260

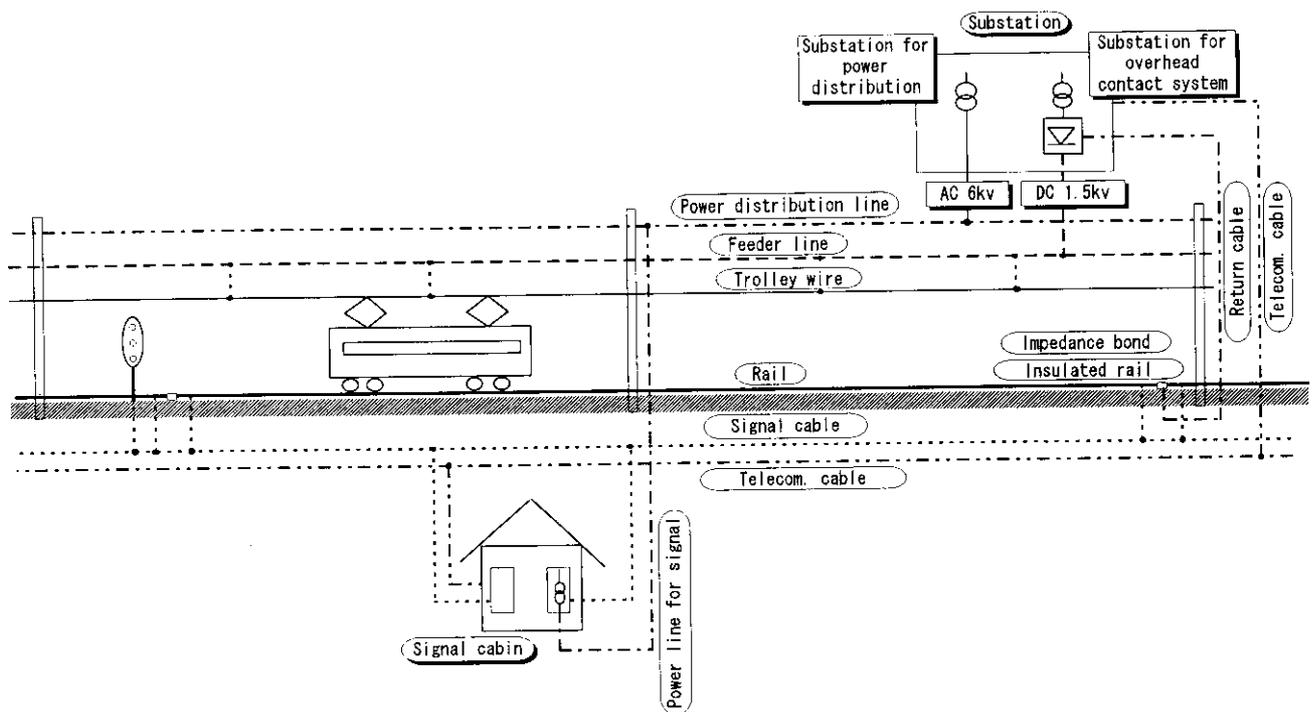


Fig. 2 Railway system

遠方監視制御装置からなっている。

負荷が電車という性質上、電車の出発・停止、加減速に応じて負荷変動が大きく、電車や電車線路の故障時には瞬間的に大きな過電流が流れる恐れがあるため、過負荷運転に耐えることが要求され、主変圧器と整流器の過負荷耐量はS種（過負荷150%：120 min, 200%：5 min, 300%：1 min）の仕様としている。

整流器からの直流出力は、キ電盤より電車線を経由して電車に送り出される。キ電盤には直流高速度遮断機(HSCB)、故障選択継電装置(50 F)が収納されている。電車線の環境条件の特異性から、電車線に樹木などが接触するなどの事故で遮断した場合、自動再開路制御を行っている。また、遮断機等の保守点検の際でも電車運転に支障しないよう共用遮断機回路を設けている。キ電盤の数は電車線の数によって決まるが、将来電車線が増えた場合にも比較的容易に追加・増強が可能ないように計画される。遮断機の仕様は、定格電圧：

直流1500V、定格電流：直流2000A、遮断電流：50000Aである。

遠方監視制御装置は変電所を適切に遠方監視制御するためのもので、親局と子局が1対になっており、親局を中央監視センターに子局を各変電所に設置する。親局と子局は2対の通信ケーブルで接続し、主遮断機の開閉や機器類の状態を常時監視するとともに、点検等の際には付属電話機で制御監視機能を妨げることなく変電所との通話が可能である。

5.2 電車線路

電車に集電装置（パンタグラフ）を介して電力を供給するため、線路に並行して設置された電線路を、電線路を指示する工作物も含めて電車線路と呼ぶ。

電車線路は以下の設備から構成される。

- (1) 電車の集電装置と直接接触するトロリー線
- (2) これを軌道面上に一定高さに吊るすためのちょう架線
- (3) 変電所から電気を供給するキ電線
- (4) 電車に供給した電力を変電所に返すための帰線路であるレール

直流キ電系統は構成を Fig. 2 に示すように、電流が大きいため電車線と並行してキ電線を設け、キ電線は変電所の相互間を並列に接続して、負荷による電圧降下の軽減を図っている。電圧降下の限度は DC 1500 V では 900 V であり、最大の電圧降下は変電所から最も遠距離にある列車が起動・登り勾配走行など大きな電流を取っているときに発生するので、それに合わせた対応が必要である。また変電所の中間に、遮断機などの開閉装置を設けたキ電区分所を設置し、事故や保全作業のキ電区分を行っている。

トロリー線は硬鋼の溝付き円形断面であり、かつ張力がかけられていることやパンタグラフとの接触の問題から、トロリー線同士の直接の接続は行わず、連続したトロリー線の終端を重ねて敷設する air joint により、電気的に接続する。

6 運行管理設備

列車は専用の軌道上を走行し、停止までの制動距離が長いことから、衝突などの事故を防ぐ保安設備が必要となる。そのための設備が信号設備であり、また非常時を含めた運行のための通信・連絡手段としての通信設備がある。

6.1 信号設備

列車の衝突を防ぐためには、列車の前方区間に他の列車がいなければよく、そのためには線路を一定区間に区切り、その中には一つの列車のみの進入を許し、他の列車を進入させなければよい。このような列車運行方式を閉塞方式と呼ぶ。閉塞方式による信号設備は、閉塞装置、軌道回路、連動装置、信号装置、転てつ装置からなっている。

閉塞装置と軌道回路は一对の構成をなしており、前述の区切られた一定区間（閉塞区間）のレールを電気回路の一部として利用して、列車がその区間にあることを検知する設備を軌道回路と呼ぶ。列車を検知する区間は数百 m から 2 km ごとに軌道回路として分割される。軌道回路の両端のレール継ぎ目は電気的に絶縁され、一端に電源を他端に軌道リレーを接続して、その区間に列車が進入するとレール間が車軸により短絡して、軌道リレーが作動を失い列車進入を検知する。一方、電車が運転されている場合、レールは電車に供給した電力を変電所に返すキ電線の帰線路として利用されているため、軌道回路を構成するために設置された絶縁継ぎ目部では信号電流とキ電電流を分離し、信号電流は軌道回路のみを流れ、キ電電流は全軌道回路を一つの帰線として流れるようにインピーダンスボンダが設置される。

連動装置は、駅構内のように線路が分岐・交差している場所での列車の走行ルートに交差・衝突を生じさせないための制御装置であり、通常は駅構内の信号所に設置される。

信号装置は進行、停止、速度、進路などの運転条件を運転士に指示するものであり、信号機に代表される。

転てつ装置は、線路の分岐部に用いられる分岐器のポイントを転換させる装置をいう。

これら信号設備は電気式であるため給電設備が必要となる。前述した変電所のうちのいくつかには信号設備給電用の変圧器を併設し、6 kV の 3 相交流で各信号所へと給電する。信号所への給電系統は

複数の変電所から給電できるようになっており、通常給電を受ける変電所が停止しても他の変電所から給電されるようなシステムになっている。

信号所内では変圧器により降圧して各信号設備に給電する。また、充電器と蓄電池が設置され、自動充電回路が構成されている。蓄電池は 6 h の使用に耐える容量になっている。

6.2 通信設備

通信設備は、電信が発明されて以来駅間の連絡など列車の保安確保に利用され、現在も通信回線を含めた通信設備の果たす機能は多い。隣接駅間の連絡、列車指令と信号所間の連絡といった日常の連絡に加え、線路沿いの非常用電話や駅構内の列車入れ替え用通話設備など、使用方法にあわせて各種の通話設備が設けられている。

通信回線には、上記通話回線以外に、変電所の遠方監視制御用信号や信号設備の連動装置間のデータのやりとりなどに使用されている。

7 鉄道設備のエンジニアリング

鉄道工事が計画される場合、計画地域での予想輸送需要をもとに、まず全体計画が策定される。その策定過程において、既存設備の改良・増強または新設備のいずれが現実的であるかが、現在の輸送能力・状況、最終的に求められる鉄道網の機能、工事期間中の機能維持等を勘案して選択される。その中で前述の各設備の要求性能・仕様や設備機器の配置が検討・決定される。このような全体計画・設計は通常は事業主体が行い、当社のようなエンジニアリング・工事会社は工事計画を含め各設備の詳細設計から参画することになる。

その場合、工事地域における自然・社会条件を考慮に入れた設計や計画が工事の円滑な実施において重要となる。インドネシアでの実例を挙げれば、熱帯という気象条件に対しては、①高温・多湿に対応した設備仕様と②落雷による被害防止用避雷器の通常の仕様以上の設置を行い、鉄道敷地内への侵入と盗難の防止のためには、①ケーブル敷設はトラフの利用を避け直埋め方式を採用し、②架空線のような露出配線の場合には低電圧電流を流しておくなどの防護措置を講じた。

8 まとめ

鉄道は自動車や航空機の発達により陸上交通輸送における比率は低下しているものの、輸送効率、エネルギー消費量、環境面から優れた輸送システムである。また、大量輸送、定時性、安全性などの特性は都市機能の保持に欠くことのできないものであり、普通鉄道に加えて、地下鉄、ライトレール、新交通システムなど広義での鉄道システムが発展途上国を中心に数多く計画されている。

製鉄所建設を通じて培った鉄道技術を核にしなが、近年の国内および東南アジアでのプロジェクトでの経験や技術の蓄積を加味して、複合プロジェクトである鉄道建設を通じてその土地の発展に寄与したい。

参考文献

- 1) 上月孝之、金谷正豊、一ノ瀬満郎：「東南アジアでの鉄道建設プロジェクトマネジメント」、川崎製鉄技報、25(1993)3、211-215
- 2) 久保田博：「鉄道工学ハンドブック」、(1995)、[グランプリ出版]