

日本唯一のラック式鉄道建設の取り組みを通じて  
技術者倫理を考える

Consideration on Engineering Ethics through the Efforts for the  
Construction of the Rack-type Only Railway in Japan

橋本英樹

名古屋工業大学ごきそ技術士会  
技術士（金属部門・総合技術監理部門）

Hideki HASHIMOTO

The Institution of Professional Engineers, Nagoya Institute of Technology

【Key words】

1. 白井昭 (SHIRAI Akira)
2. 大井川鐵道井川線アプト式鐵道  
(Oigawa-Railway Ikawa Line Rack  
System Train)
3. アプト式・フォンロール式 (Abt System, Von  
Roll System)
4. 史の視点 (A View Point of History)

【概要】

大井川鐵道井川線に日本唯一のラック式鐵道がアプト式により建設され、1990年10月に營業運転を開始してから28年が経過した。ここは90% (90/1000)の勾配、橋梁、トンネル、半径100m (R100)の曲線が混在するリスクの大きな区間であるが、開業以来、無事故で運行を続けている。

このラック式鐵道の計画、建設、試運転そして營業運転に対して中心的な役割を果たしたのは当時、大井川鐵道の取締役副社長・技師長であった白井昭である。

本稿では、白井昭の技術者としての具体的な取り組みに改めて注目しながら、技術者倫理について考える。

## 1. 技術の伝承に取り組んできた技術者の取り組みを振り返る

1950年代から技術の伝承について取り組んできた技術者がいる。静岡県の  
大井川鐵道を世界有数の保存鐵道として生まれ変わらせたことで知られる白  
井昭である。

白井は1948年3月、名古屋工業専門学校（現在の名古屋工業大学）機械科  
を卒業後、名古屋鐵道に入社した。名古屋鐵道においては、7000形パノラマ  
カーや、当初名古屋鐵道が経営参加していた東京モノレールで最初に使われ  
た100形、300形電車の開発に中心的に関わった。また、博物館明治村にお  
ける蒸氣鐵道や京都市電の動態保存にも大きな役割を果たした。1969年か  
らは、大井川鐵道に移り、蒸氣機關車の動態保存と本線での定期運行を実現し、  
大井川鐵道を世界有数の保存鐵道に生まれ変わらせた。さらに技師長として、  
現在日本唯一である井川線のアプト式鐵道の建設にも尽力した。

白井が名古屋鐵道に入社した当時、日本の鐵道技術（特に電氣鐵道の技術）  
はアメリカに比べておよそ10年以上遅れていた。終戦から数年の間、特に日  
本の私鉄各社は、国鉄に比べて圧倒的に貧弱な軌道と、何とか動かせる電車  
により日々の列車運行を行った。目の前の列車を動かすことが精一杯であ  
った。そのような中、海外、特にアメリカからの最新の技術情報が日本に入る  
ようになってきた。白井も海外から特に電氣鐵道の最新の技術情報を取り寄  
せ、寝食を忘れて勉強した。訳の分からないことも多かったが、分からない  
なりに魅力的でもあった。そのような取り組みの中で海外の鐵道技術者に多  
くの友人ができた。ところが、海外の友人からは「最先端の技術を勉強する  
のもよいけれど、古いものを保存するとか勉強するとかも同じようにやらな  
いと本当に立派なエンジニアとは言えない」と言われた。当時の私鉄の状況  
は「親方日の丸」であった国鉄とは異なり、その日の列車運行にも事欠く  
という苦しい状況であった。白井は海外の友人に「I understand.」と苦し紛れ  
に答えるほか無かった。そのとき、確かに悔しかったが「なるほどそうだな」、  
「やらなければならないな」ということを痛切に感じた。このことが後に保  
存鐵道に取り組み、技術の保存や伝承に取り組む原点となった。

白井は次のように言っている。

「技術者は新しいことに挑戦し、新しいことを産み出す。そのことに楽しさと喜びを見出してゆくことが重要である。そのとき、技術者は目の前にある物事について、その『元は何だったのか?』と思う好奇心を持つことが重要である。」

つまり、技術者には技術史に対する十分な理解が求められ、必要に応じて産業考古学や産業遺産研究という分野に踏み込んで、技術の本質を理解しなければならないと言っている。さらに、次のように言っている。

「技術者には好奇心とプライドが必要だ。それを維持するには、技術者としての美徳が求められる。」

ここで言う「美徳」こそ、「倫理」と置き換えて理解して良い。

白井が大井川鐵道の副社長兼技師長として陣頭指揮を執ったプロジェクトの一つに、大井川鐵道井川線のラック式鉄道の建設がある。この取り組みからは技術者が倫理的な取り組みとは何かを学ぶべきところが多い。

## 2. 大井川鐵道井川線のラック式鉄道建設まで

ラック式鉄道とは、軌道に敷設された2本のレールの中央にラックレールと呼ばれるレールを敷設し、車両（機関車）側に取り付けられたピニオン（歯車）をかみ合わせながら急勾配を登ったり下ったりする鉄道システムのことである。一般の鉄道では車両はレールと車輪との粘着力（摩擦力）により走行するため、90%（90/1000）のような急勾配の場合、登る際には粘着力が不足して登ることができない。また、下る際には通常の摩擦によるブレーキ力だけではブレーキが壊れた際に車両を止める手段が無くなるため、大きな事故につながる。

ラック式鉄道には様々な方式があるが、世界的に見て多い方式はリゲンバッハ式、アプト式、フォンロール式である。世界一の急勾配は、1889年に開業したスイスのピラトゥス鉄道（Pilatus Bahn）の480%で、ロッハー式が採用されている。また、大井川鐵道の姉妹鉄道で蒸気機関車による登山鉄道で有名なスイスのBrienz Rothorn Bahnは250%で、2列のラックレールによるアプト式が採用されている。アプト式、ロッハー式のいずれも19世紀末



写真1 大井川鐵道井川線のラック式鐵道区間の標識

R=100（半径100mの急曲線）、90%の急勾配、市代橋梁の標識があり、1か所に複数のリスクが存在する区間であることが分かる。

に開発された方式である。

現在、日本に存在するラック式鐵道は静岡県にある大井川鐵道井川線のアプトいちしろ駅（標高396m）～長島ダム駅（標高485m）の1.5kmの区間のみであり、3枚のラックレールによるアプト式が採用されている（写真1）。この区間は距離こそ短いが、90%の急勾配のほか、半径100mの急曲線、橋梁、そしてトンネルが存在し、鐵道にとっては非常に危険で困難な区間である。大井川鐵道はこの困難な地形を技術力で制し、1990年の開業から28年を経た今日まで無事故で営業を続けている。

ラック式鐵道はかつて日本にも存在した。旧国鉄信越本線の横川～軽井沢間の碓氷峠を越える区間である。「碓氷線」とも呼ばれた。この1893年に開通した日本初のラック式鐵道は海外の技術に改良を加えたもので、アプト式が採用され、その最大勾配は66.7%であった。ラック式鐵道の区間では、通常、重量が大きく、ピニオンがラックレールを介して地面とつながっている機関車を坂下側に連結する。機関車は勾配区間において列車を押し上げる役割だけでなく、列車を坂下側に滑走させないようにするためのブレーキとし

での役割も担っている。

碓氷線は1963年に輸送力増強のために建設された複線の新線に移行し、アプト式は廃止され、粘着力のみによる方式に改められた。このときEF63形直流電気機関車（以下、EF63）が新たに開発され、峠を越える列車編成の坂下側に連結された。EF63はラック式ではなかったが、自動空気ブレーキのほか、大容量抵抗器による発電ブレーキ、直接レールに吸着してブレーキ力を得る電磁吸着ブレーキを装備し、安全を確保していた。

この碓氷線にも急勾配だけでなく急曲線、トンネル、橋梁が存在していた。北陸新幹線の高崎～長野間の開業に伴い廃線となり、104年の歴史を閉じたが、特にアプト式の時代には多くの事故があり、多くの死者も出した。

一方、大井川鐵道井川線のラック式鉄道の区間は、大井川の長島ダム建設により水没する井川線の一部区間を代替する目的で計画された。長島ダムは国土交通省が管理する大井川水系で唯一の多目的ダムであり、水力発電の機能は有していない。長島ダム建設の検討が始まったのは1965年頃である。その後、1972年には長島ダム調査事務所が発足、1981年には長島ダムの建設計画が具体化した。その結果、井川線の一部区間が長島ダムに水没することとなった。

1980年頃には自動車の人々の移手段、あるいは物流の手段として実質的に実力を発揮してきた。その中で井川線のような軽便鉄道は時代遅れの最たるものとなってきた。そのため、長島ダムが出来れば井川線は廃線にして代替する道路を建設する方向で話がまとまりかけていた。ところが白井はそれに待ったをかけた。法令では、国が建設するダムにより沈む学校、病院、道路、鉄道はその機能を代替するだけのものを造らなければならなかった。そこで白井は自ら井川線の存続運動を立ち上げ、何とか廃線を阻止しようと動いた。そして、鉄道は時代遅れだからと言ってやめてしまうというのは地元は後悔するということを主張した。何としても井川線を廃線にしたいがなかったのである。一方、白井が懸念したのはおよそ100億円で水没区間をラック式鉄道に付け替えたとして、これが完成した途端に大赤字で、完成から3年経過したところで全部やめてしまうと、巨額の税金投入が無駄になってしまうということである。つまり、必要の無いものを残したのでは歴史的必然ですぐに消えてしまう。

幸いにも存続運動は功を奏し、関係者の意見が井川線存続に向けて一致した。その背景には、1970年代の石油ショックもあった。輸送手段として自動車だけに頼るとのことへの懸念も生まれていた。

当初、水没区間の89mの高低差をループ線と長大トンネルと緩やかな勾配で建設することも検討された。しかし現在のアプトいちしろ駅から長島ダム堰堤へのアプローチを最短とし、観光路線として新たな交通形態を実現し、より価値の高いものを後世に残すため、日本で唯一となるアプト式のラック式鉄道を建設する方向へと修正された。

白井はラック式鉄道を日本で再び実現するに当たり、当時、交通土木工学の分野で重鎮であった東京大学名誉教授・八十島義之助（故人）にアドバイスを求めるべく相談した。八十島は日本に再びラック式鉄道の技術を取り戻すチャンスであるとして、白井の申し出を快諾した。そしてラック式鉄道による井川線の付け替えが決定する前年の1981年、「アプト式鉄道調査委員会」が発足し、その委員長に八十島が就任した。八十島の下には日本国有鉄道（当時）の鉄道総合技術研究所、当時大井川鐵道の筆頭株主であった名古屋鉄道の車両部、ED90形電気機関車の製作を担当した日立製作所、川崎製鉄、日本製鋼所、東鉄工業、大和工業など、実務に精通した企業や技術者、コンサルタントなどが集結した。これは「八十島委員会」と呼ばれ、運転、施設など多くの分科会に分かれてアプト式のラック式鉄道固有の安全性や諸特性に力点を置いて科学的な視点から全力で研究が進められた。八十島委員会はそのほとんどが東京で開催され、最終的にはシミュレーションによりアプト式によるラック式鉄道の技術が確認され、1982年、アプト式による付け替えが決定した<sup>3)</sup>。

1983年月上旬にはその成果が報告書としてまとめられ、その報告書を通じて井川線のアプト式によるラック式鉄道は一定の条件の下、十分安全に運転できると宣言された。

一方、碓氷線の時代にはアプト式によるラック式鉄道の安全性に関わる諸特性に関する科学的な研究がほとんど無かった。井川線のラック式鉄道が計画された時点で残されていた碓氷線に関する情報のほとんどが事故に関する記録であった。そのため、井川線のアプト式によるラック式鉄道は、古い技術の復元ではなく、新しい技術の開発として取り組む必要があった。

### 3. 古い技術の復元ではなく新しい技術の開発としての取り組み

日本でラック式鉄道が廃止されてから 20 年経過した 1983 年から、井川線のラック式鉄道をアプト式で再生するため、様々な取り組みがあった。

そのうちの特に注目すべき取り組みについて以下に示す。

#### 3-1 ラック式鉄道の研究

井川線のわずか 1.5km の日本唯一のラック式鉄道区間のために ED90 形電気機関車（以下、ED90、写真 2）が開発され、合計 3 輛が製作された。井川線では、ラック式鉄道の区間だけが電化されており、その他の区間は非電化である。

ED90 の二つのボギー台車にはそれぞれ三つの駆動軸がある。二つの粘着軸（動軸）と台車中央付近のラック軸である。ラック軸にはピニオンと呼ばれる歯車が 3 枚取り付けられたている（写真 3）。3 枚のピニオンは 120 度ずつ位相をずらして配置してあり、地上側のラックレールとかみ合いながら勾配区間を走行する。最大 90‰ の勾配区間では駆動力のほぼ全てをラックレールとピニオンが負担している。そのため、ED90 の各駆動軸に取り付けられたモータのトルク配分はピニオンを駆動している二つに主力を置いている。

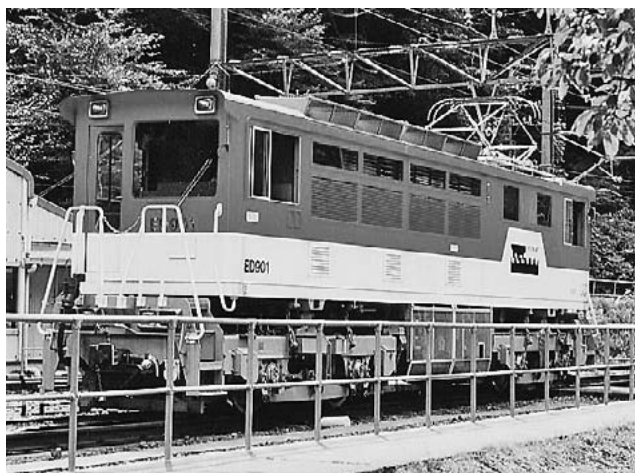


写真 2 ED90 形アプト式直流電気機関車

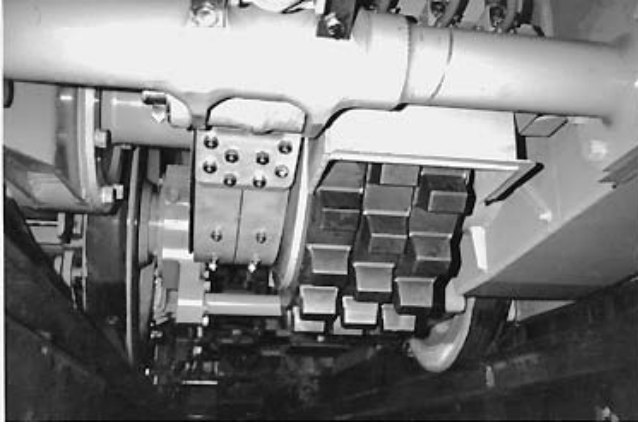


写真3 ED90の台車に装備されたピニオン<sup>2)</sup> (写真撮影：白井昭)

ED90が開発された1990年頃には、電気機関車においても実用化され始めた交流モータを利用し、VVVFインバータ制御と電力回生ブレーキを装備した当時としては最新のシステムを導入することも可能であった。しかし、90%の急勾配を考えたとき、停電や故障などがあっても確実に動作し、安全を確保できるシステムを選択することが必要と判断された。つまり、安全性を最優先とし、あえて時代の最先端を行くシステムの採用を見送った。そしてシンプルで、かつ、停電しても問題がないように十分な実績のあるブレーキシステムを採用した。そのためモータは直流モータを使い抵抗制御とし、発電ブレーキを装備した。発電ブレーキとはモータを発電機として使うことでブレーキ力を得るというものである。最新のシステムでは発電した電力は架線に戻す電力回生ブレーキが採用されるが、抵抗制御の場合、発生した電力は抵抗器により熱として大気中に放散される。電力回生ブレーキの場合、架線に戻された電力が別の列車で利用されなければ電力を回生できなくなり（これを「回生失効」と呼ぶ）、ブレーキ力が得られなくなる。ED90の場合、どのような状況でもブレーキ力を確保するため、回生失効とは無縁の抵抗制御を選択した。発電ブレーキのほかにも自動空気ブレーキ、保安空気ブレーキ、ラックホイール用ばねブレーキ、非常短絡発電ブレーキを装備している。

そのほか、アプトいちしろ駅と長島ダム駅での機関車の連結と解結が頻繁



にあるため、ED90の運転台の前にはデッキを装備し、駅の係員が連結器を真上から目視できる構造としている。また、パンタグラフは1990年当時には既にシングルアーム式が日本国内でも使われ始めていたが、万が一壊れた際に名古屋鉄道から代替品を容易に入手できるという理由から、従来の菱形のものが採用された。

### 3-2 クハ600形制御客車の開発

井川線では従来はDD20形ディーゼル機関車（以下、DD20）が客車を牽引していたが、ラック式鉄道の区間の開業時に伴い、DD20を編成の千頭側（ラック式鉄道区間の走行時の坂下側）の端に連結するようにした。さらにラック式鉄道区間ではDD20のさらに坂下側にED90を連結するようにした。その結果、井川側の端には運転席が必要になった。これに対して新たにクハ600形制御客車（以下、クハ600、写真4）が開発された。クハ600にはDD20とED90を制御するためのマスターコントローラとブレーキ弁を装備した（写真9）。ラック式鉄道区間においてはDD20とED90の総括制御も可能である。日本には1990年まで、制御客車が存在しなかったため、クハ600は、海外の事例を参考に新たに開発された。現在では観光用の列車（トロック列車など）を中心に、日本各地に制御客車が存在するが、大井川鐵道のクハ600はその先駆けとなった。



写真4 クハ600形制御客車

### 3-3 列車編成の座屈と脱線に対する安全性の確認

1990年初頭、アプト式による井川線のラック式鉄道が完成し、試運転列車による実測が可能となった。そこで八十島委員会の各分科会からそれぞれ担当者を定め、「アプト鉄道試験委員会」を設けた。アプト鉄道試験委員会は、のべ10ヶ月に渡る実測試験を行い、そのデータの分析、検討のほか、手直し、完熟運転も並行して行った。そして運輸省（当時）による検査を経て、1990年秋、営業運転を開始した。

井川線のラック式鉄道の区間には、90%の急勾配のほか、半径100mの急曲線が存在する。そのため、列車には編成の座屈と横圧<sup>おうあつ</sup>の増大に伴う脱線のリスクが一般の鉄道の区間に比べて格段に大きい。

この問題に対し、運輸省（当時）の交通安全研究所が主導する形で、八十島委員会によりラック式鉄道の区間において長編成の積車（荷物を積んだ状態）のトキと呼ばれる無蓋貨車による試験列車を使い、列車編成の自連力、車輪横圧などの測定がラック式鉄道区間の完成後に連日実施された（写真5）。

鉄道の特徴の一つとして、多くの車両が連なって走ることが挙げられる。車両同士は連結器によりつながっている、この連結器は単純に車両同士をつ



写真5 ラック式鉄道開業認可に向けた安全試験列車（1990年4月）  
（写真撮影：白井昭）

なくだけでなく、隣り合う車両同士の間隔を適切に保つことや、列車の加減速で生ずる牽引力やブレーキ力を伝達する役割がある。そのため連結器には引張り力や圧縮力が作用している。このような力を自連力と呼ぶ。自連とは自動連結器のことである。連結器にも様々な種類や構造があるが、かつて最も多く利用されていたものが自動連結器であるため、連結器に作用する力を総称して自連力と呼ばれるようになった。

90%の勾配区間においては、平坦な場所を走る場合に比べて格段に大きな自連力が作用する。列車座屈には上下方向に折れ曲がる「垂直座屈」と左右方向に折れ曲がる「水平座屈」とがある。垂直座屈が発生すると台車と車体の分離が発生することがある。また、水平座屈が発生すると車輪がレールを乗り越え、脱線することがある。いずれも、90%の勾配区間で発生すると大事故発生につながる。

横圧とは、車輪がレールの側面に及ぼす力のことである。車両が曲線を通過するとき大きくなり、曲線半径の影響を受ける。輪重（車輪にかかる荷重）（P）と横圧（Q）との比が脱線係数で、 $Q/P$ で表される<sup>5)</sup>。特に井川線のラック式鉄道の区間では曲線半径が100mと小さく、さらに勾配が最大で90%となるため、横圧の増大が脱線による事故発生リスク増大に直接つながる。ところがこの条件での編成の長さや車両への積載荷重と横圧との関係を示すデータや、横圧がどの程度までならば許容できるかを判断するデータも存在しなかった。これらのデータが無ければ、ラック式鉄道区間における安全率を計算ができない。そこで先に述べた自連力の計測と同時に横圧の計測も90%のラック式鉄道の区間で実施され、膨大なデータが収集された。

### 3-4 橋梁でのラックレールの熱膨張への対策 ～海外の姉妹鉄道から学ぶ～

鉄道で使われているレールに炭素鋼が使われているため、夏場、太陽に熱せられると膨張し、長さが伸びる。この熱膨張を吸収するために、25mの長さのレールを使っている区間であれば、レールとレールのつなぎ目に隙間を設ける。またロングレールを使う区間であれば、レールの熱膨張を逃がすための仕組みが一定区間毎に設置されている。

ラック式鉄道においては、ラックレールにも鉄鋼材料が使われているのでレールと同様に夏場には熱膨張がある。レールもラックレールも熱膨張するが、バラスト（砂利）の敷いてある道床を使う場合、ラックレールの熱膨張

は問題にはならないほど僅かであることが分かっていた。ところが、通常は道床を使わない橋梁上ではラックレールの熱膨張が大きくなることが予想された。ラックレールが熱膨張すると、機関車側のピニオンとの位相がずれる。それが許容範囲を超えるとラックレールとピニオンがかみ合わなくなり、列車の走行ができない。

八十島委員会においてもこの問題への対応について、データが無かったことから、当初は橋梁も道床付きとすることで確実に対応可能かどうか分からなかった。そこで、白井はスイスの Brienz Rothorn Bahn にアドバイスを求めた。Brienz Rothorn Bahn からは「橋梁上においても道床を使うこと」で問題の解決が可能という回答を得た。そして1989年秋、井川線のラック式鉄道の橋梁は桁をコンクリートPCとし、道床付で施工された(写真6)。施工後には橋梁においてレールの熱膨張のデータの計測が実施され、夏と冬との間で数cmの伸縮が確認された。この伸縮自体は列車の安全運行に対して問題とはならないと判断されたが、大井川鉄道では安全確認のため、引き続き橋梁の稼働端での道床の動きの追跡を実施した。



写真6 井川線のラック式鉄道の橋梁(市代橋梁)は道床付で施工<sup>2)</sup>  
(1989年秋・写真撮影：白井昭)

このときは、白井がスイスの姉妹鉄道に対してアドバイスを求め、問題を乗り切ることができた。しかし、特に技術立国であるスイスの技術者はこのような技術上のノウハウに関わる肝心な情報を漏らすことは決してない。大井川鉄道の場合は1977年からBrienz Rothorn Bahnとの間で姉妹鉄道の関係を結んでおり、毎年欠かさずスイスへ人を派遣している。日頃から両者の間に良好な関係があったこともスイスの姉妹鉄道からアドバイスを得られたことの背景にあったと考えられる。

#### 4. 断念したスイスからの技術導入

ラック式鉄道については日本よりもスイスの方が一歩も二歩も前を進んでいる。そのため、井川線のラック式鉄道の計画の過程でスイスからの技術導入についても検討された。しかし、先に述べた通り、スイスからの技術上の肝心な情報の提供は得られなかったことから、結局はアプト式を採用した上で、日本で開発された要素技術により建設された。

井川線のラック式鉄道の開業後、このラック式鉄道について、スイス人技術者が調査した。その結果、全体としては良くできており、特にED90のシンプルなメカニズムが優れていると評価した。一方、経済的に若干の無駄があるという指摘もしている。スイス人は安全第一であることはもちろんのこと、無駄な設計を良いとはしない。しかし、日本人は無駄に安全率の高い設計の方が良いと考える傾向がある。日本人技術者はスイス人技術者の考えから大いに、また謙虚に学ぶべきところがある。

#### 5. 技術者としての責任

大井川鉄道井川線のラック式鉄道は1990年10月2日の開業から28年間、無事故を継続している。しかし、その計画から建設に中心的に関わった白井はその完成後、そして今も次のように言っている。

「フォンロール式の方が良かった・・・」

白井がフォンロール式のラック式鉄道を初めて目にしたのは井川線のラック式鉄道が計画段階にあった1980年代初頭であった。そのとき、白井は技術者としての直感で、フォンロール式が最も優れていると感じたと述べている。

先に述べたとおり、ラック式鉄道の方式として世界中で多いものとしては、アプト式のほか、フォンロール式、リゲンバッハ式が挙げられる。これらの内、近年、採用が増えてきている方式はフォンロール式である。ラック式鉄道の中ではリゲンバッハ式の採用例も多いが、最も新しいフォンロール式に移行するラック式鉄道もある。またアプト式やリゲンバッハ式とフォンロール式との間では互換性があるため、混用することも可能である。実際にスイスではリゲンバッハ式やアプト式の一部をフォンロール式に取り替えた事例もある。

アプト式は、2枚または3枚のラックレールを使う。一方、フォンロール式は1枚のラックレールを使う。地上側のラックレールと機関車側のピニオンの数が多ければ、そのいずれかが仮に欠損したとしても冗長性があるため、十分な安全性が確保できると考えられる。しかし、近年の材料技術や熱処理技術の進展を考えたとき、ラックレール、ピニオンのいずれも欠損しない十分な強度を持つものが供給できる。フォンロール式ではラックレールが特殊鋼の鋳造品を使っている。熱処理をすることで高強度が確保できる鋼種が選択されていると考えられるが、その詳細は開発したフォンロール（Von Roll）社のノウハウであり、一切公開されていない。

ラックレールの熱膨張によるラックレールと機関車側のピニオンとの位相のずれが発生するリスクは、ラックレールとピニオンが少ない分だけフォンロール式の方がアプト式よりも小さい。またフォンロール式はアプト式に比べてラックレールを固定するためのボルトとナットの数量が圧倒的に少ない。そのため、それらの締結箇所での緩みが発生する可能性が圧倒的に小さい。さらに保守段階での作業量も大幅に減少するためメリットが大きい。

梯子状のラックレールを利用するリゲンバッハ式もアプト式に比べるとよりシンプルであるが、鋼製のチャンネルに、ピンをかしめる構造であり、フォンロール式の方がよりシンプルである。

構造物において、その仕組みや構造がシンプルであれば、運用の段階でのトラブルが少なく、またメンテナンスの手間も少ない。

フォンロール式は1970年代に開発された方式で、ラック式鉄道の方式の中では最も新しい。そのため、それまでにあった方式の問題点の解決が図られていた。

しかし、井川線のラック式鉄道ではアプト式が採用された。それは、八十島委員会を率いた八十島が1980年代初頭の段階で採用と運用の実績が最も多かった「アプト式」の採用を決めていたからである。フォンロール式は開発されてから間もない段階であったため、当時はまだ実績が少なかった。

白井は、アプト式よりもフォンロール式の方が優れていると理解していながら、八十島と共にアプト式の「実績」を重視した。1980年代前半の時点で、フォンロール式を採用する判断をした場合、井川線のラック式鉄道開業後に未知のリスクが発現する可能性もあったからだ。

一方、ED90形を製作した日立製作所はアプト式よりもフォンロール式の採用を主張した。技術的にはアプト式よりもフォンロール式の方が優れているという判断があったからだ。しかし八十島は、当時、フォンロール式の実績が少なかったことを理由に日立製作所の主張を全く認めなかった。八十島と日立製作所はこの点で大きく対立したが、最終的に日立製作所はアプト式でED90を設計・製作することを受け入れた。

白井は「フォンロール式を採用すれば良かった」ということを井川線のラック式鉄道の開業後に言っているが、これはその後、世界的に見たときフォンロール式の採用事例が多く、技術的にも優れていることが科学的にも証明されたからである。白井がフォンロール式を初めて見たときに、フォンロール式がアプト式よりも優れているという技術者としての勘は正しかったことが後になって証明された。しかし1980年代初頭の時点ではフォンロール式による実績が少なかったことや、フォンロール社から技術的な情報の開示が得られなかったことから、フォンロール式を選択しなかった。

技術者は世の中に新しい「もの」をつくる。それを社会に提供することは、新たなリスクを社会に生み出すことにつながる可能性がある。しかし公衆は専門家である技術者を信じるしかない。このような状況において、技術者には自らが生み出した人工物を介して不特定多数に不利益を与えない倫理が求められる。また、自らの仕事が社会や顧客に対してどのような影響を与えるのかを想像する能力が求められる。

## 6. 技術の伝承と史の視点

白井は技術とは伝承してこそ、その真価が生かされると考えている。技術の伝承とは、技術者が先人に学び、また先人の技術を受け継ぎ、その上で次の世代に技術を伝えてゆくことにほかならない。白井は90歳を越え、第一線を退いた今も自らが行った仕事について考え続けている。そして、自ら行った仕事について、それを後世に伝承しようとしている。白井の行った数々の仕事も、今や技術史の中の出来事の一つになろうとしている。それらから得られた技術やノウハウの伝承を確かなものにするには、技術を伝承される側に「史の視点」がなくてはならない。史の視点とは技術が先人の着想から試行錯誤、失敗や挫折などの苦悩を経て完成し、広く社会に定着するプロセスを知るという視点である。ものごとの変化の様を眺め、変化を生み出す力を探る視点でもある。史の視点は、知識を生み出すための知識を与え、新たな想像力とイノベーションを生み出す力の源となる。ただ、技術を後世に伝えようとするだけでは、十分とは言えない。

歴史とはその決断と実行の足跡である。人は切羽詰まった状況に置かれたとき、もがきながら決断し、行動する。私たちが歴史に注目するとき、ある事柄がなぜその時代にその場所で起きたのか、それにはどのような人間がどう関係したのかについて、その当時の人の視点で評価し、理解することが重要である。そのとき、特に人物に焦点を当てることが大切である。これまでの時代を切り拓いてきた先人の生き様を通じ、ある状況における自らの決断と行動の正しさと限界、社会における自らの決断と行動の正しさ、そして社会における自らの責任や役割を知ることができる。つまり、技術者は技術史に対する理解無くして技術者としての社会的責任の重さは理解できない。

「愚者は経験に学び、賢者は歴史に学ぶ」と言われる。ここで言う「経験」とは自らの経験のことである。また「歴史」とは先人の経験の積み重ねのことである。現在、私たちの目の前にある技術は一朝一夕に得られたものではない。先人の苦勞の積み重ね、つまり歴史があって得られたものである。すなわち「歴史があるから今がある」のである。技術者には自らが苦勞して得た経験だけで直面する課題に対応するのではなく、先人の取り組み、つまり「技術史」から学ぶという姿勢が求められる。最先端のことを学ぶことは重



要であるが、技術史に注目することを通じて過去の技術者の取り組みを見ることも、未来に向けて自らが何をすべきかを考えることにつながり、同様に重要である。

白井は技術者として史の視点を大切にしてきた。先人の遺した技術の保存と活用を進め、その伝承を実践してきた。その成果の一つが大井川鉄道での蒸気機関車の動態保存である。1970年代、失われつつあった蒸気機関車の技術を復活させ、現在、日本各地で実施されている蒸気機関車の動態保存につながっている。さらに日本において一度完全に失われたラック式鉄道の技術を全く新しい技術として復活させた。それはあえて最新技術によるのではなく、十分に実績のある技術を集積させて完成させたものである。その考え方はかつて島秀雄の陣頭指揮で1964年10月に完成した東海道新幹線のプロジェクトに近い。井川線のラック式鉄道のプロジェクトにおいても白井の史の視点が生かされた。

## 7. まとめ

近年、技術者にはイノベーションを生み出すことが強く求められている。その一方で、技術の現場では技術の伝承が途切れる危機に直面している。つまり技術の現場では目の前の仕事の忙しさに追われ、技術の伝承どころか、技術者教育さえままならない状態になっている。その一つの要因が少子高齢化の進行に伴う人手不足である。その一方で現場の仕事量は減っていない。そのため、どこの現場も目の前の仕事をこなすだけで精一杯の状況であり、技術の伝承や人材育成は後回しになっている。その結果、技術の現場からは史の視点を大切にするというところまで、考えが至っていない。

しかし、先人の遺した技術やノウハウの伝承、そして史の視点を大切にしなければならないということは、昔も今も重要であることに変わりはない。

また、技術者が新たなイノベーションを生み出すには、先人が生み出してきたイノベーションの流れを理解していなければならない。もちろん先人が生み出した優れた技術が伝承できている状況でなければ、イノベーションを生み出すことのハードルが高くなる。

大井川鐵道井川線のラック式鉄道の事例では、白井が中心となって安全を第一に考えながら、新たなシステムを生み出す取り組みを成功に導いた。そこにはノウハウの極めて少ないことに起因する大きなハードルが数多く存在したが、それらを乗り越えることができた。

技術者が史の視点を持っていれば先人から学ぶという発想、そして技術の伝承が重要であるという発想を容易に得ることができる。その発想は技術者が困難な状況に直面したときに、正しい判断をするための材料を与えてくれる。今、私たち技術者には、改めてその重要性を認識することが求められる。

## 謝辞

本稿をまとめるにあたり、白井昭氏に改めてお話を伺いました。また、白井昭氏でなければ撮影できない貴重な写真をご提供頂きました。ここに改めてお礼を申し上げます。

### 【参考文献】

- 1) 武藤健一：「世界の登山鉄道－急勾配を上り降りするシステム－」, 土木学会誌, 第80巻5号, p22, 土木学会(1995).
- 2) 白井昭：「大井川鐵道新線計画の推移」, 産業遺産研究第17号, p20-42, 中部産業遺産研究会(2010).
- 3) 白井昭：「大井川鐵道井川線」, RMLIBRARY 96, p32-33, ネコ・パブリッシング(2007).
- 4) 白井昭：「自己批判も含めて～アプト式鉄道の一年」, p62-65, 鉄道ピクトリアル, No.527, 電気車研究会(1990).
- 5) 中橋順一：「列車の座屈現象」, RRR, 2008.8 Vol.65 No.8, p26-29, 鉄道総合技術研究所(2008).

### 【写真】

特記以外は筆者撮影