

R&Dシンポジウムパネルディスカッション

環境問題に対して鉄道が果たす役割 ～研究開発が貢献できること～

パネリスト（敬称略）

慶應義塾大学大学院教授	石谷 久
石川島播磨重工業株式会社理事・事業企画部部长	佐藤 順一
JR東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センター所長	遠藤 隆
東日本旅客鉄道株式会社取締役	稲生 武（コーディネーター）

R&Dシンポジウムの中で「環境問題に対して鉄道が果たす役割」、特にその中でも研究開発はどのような貢献ができるかについて、社外の有識者を招いてのパネルディスカッションを開催しました。初めに、地球環境問題とはどのようなものであり、これからの企業が環境問題に対してどのように行動したらいいか、鉄道はどんな役割を期待されているのかについてパネリストの皆様からご意見を伺いました。そして、JR東日本ではどんな研究開発に現在取り組み、そしてどんな課題に直面しているか、社外のパネリストがJR東日本にどのようなことを期待しているのかについて議論していただきましたのでご紹介します。

1 はじめに

（稲生） 本日のメインテーマは「環境問題に対して鉄道が果たす役割」、特にその中でも研究開発はどのような貢献ができるかです。皆様に分かりやすいように、次のような順番で討論を進めさせていただきたいと思います。

初めに、これからの企業が環境問題に対してどんな哲学を持ち、その哲学に従ってどのように行動したらいいか、パネリストの皆様からご意見を伺うところから始めたいと思います。そして、大げさな言い方で恐縮ですが、このかけがえのない地球をわたしたちの子どもや孫に健全な形で渡すために鉄道はどんな役割を期待され、どんな役割を果たすことができるのかということが2番目のテーマです。そのような認識に基づいて、JR東日本では鉄道の果たす役割をどのように自覚し、具体的に責



任を果たすためにどんな研究開発に取り組み、そしてどんな課題に直面しているかを率直にお話させていただきたいと思います。そして、この課題解決のために、基礎的な研究あるいは要素技術がどのような現状にあり、先行きどんな展望にあるか、パネリストの皆様からご紹介いただきます。そして最後に、鉄道の技術陣にこういうことを期待しているという要望をおっしゃっていただこうと考えています。

それでは、まず、石谷様から企業経営と環境問題についてご意見を伺います。



取締役 稲生 武（コーディネータ）

（略歴）

昭和37年4月	いすゞ自動車株式会社 入社
平成10年6月	同社 代表取締役社長
平成13年6月	同社 取締役会長
平成14年6月	東日本旅客鉄道株式会社 取締役（現在に至る）

2 環境問題と企業活動

（石谷） 環境問題の特質について、最初にお話します。「外部不経済」と呼んでいます。本来の経済勘定に入っていないものが社会に悪影響を及ぼし、次第に影響が出てきて、それが環境問題になると言う事ができます。まず、発生側に責任を問

うという動きが出てきて、最初は補償とか賠償ということでスタートするわけですが、いわゆるPPP(Polluter Pays Principle)の原則、すなわち汚染者がその費用を払うということで、だんだん経済の内部化していったら、環境問題は解決します。

その中で、どういう環境問題があるか、ということをお話します。局所環境という非常に身近なところで騒音、振動というのが伝統的な環境問題であり、鉄道に関してはこれが最初にあったかと思います。もう少し広い範囲では地域環境があり、大気汚染や排水の問題、あるいは固形廃棄物の問題がありますが、鉄道は割とクローズしていますから、あまりそのような問題はありせん。特に大気汚染は、専ら自動車と一部の重油をたくところが発生します。最後に出てきたのが地球環境であり、繰り返し言われているように、CO₂の排出が非常に大きな問題です。

地球環境は他にも、オゾン層の破壊や熱帯雨林の消滅、酸性雨、砂漠化など、いろいろと挙げられていますが、80年代の終わりくらいから世界的に対応が取られてきました。地球温暖化問題は、その中で少し遅れて議論がはじまり、その対応策が今話題になっています。

地球規模のいわゆる温暖化問題というのは、正式名称ではなく、「気候変動」と言っています。これは、ロシアやキューバが温暖化は悪いことではないということで、折り合った結果が「気候変動」でした。この原因はエネルギー消費の拡大、それから人為的CO₂の発生ということで非常に解決の困難な問題です。

影響には何があるかと言いますと、いわゆる温室効果で気温が上がっていきます。その特性は、極めて微量のCO₂の長期にわたる蓄積であることです。これは非常に長時間の慣性があるって影響が出にくく、出てくると対処の困難な非常に不安定な現象です。そのように対応の困難なところがすべて入っているわけです。しかも影響の確認が困難で、確認されたときには手遅れだと言われていました。

そういった対策の一般論は、まず理論的な現象の解明、あるいは因果関係を見つける、そしてそのうえで経済的な手法なり罰則、規制をかけるという順序で入っていくわけですが、地球規模の気候変動問題は原因と結果の因果関係が不明確でまだ被害が見えにくいのです。慣性が大きすぎて影響が見えない、

それから地球規模で発生してもその影響には地域特性も非常に大きく、ある所は被害が大きい、ある所ではあまり影響がないかもしれません。一番大事なところは化石燃料消費から必然的にCO₂を排出することであって、対応がなかなか難しいのです。しかも、その解決は、経済への内生(内部)化に尽きるということが大きな障害になっているのはご承知のとおりです。

この10年間の動きですが、まずIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change:気候変動に関する政府間パネル)で因果関係の確認を科学的、学術的レベル(特に気象学)で検討してきました。CO₂がたまっていけば温暖化現象が起きるだろうということも、最初はそれすらなかなかコンセンサスが得られませんでした。それに続いて、今度はFCCC(UN Framework Convention on Climate Change:国連気候変動枠組み条約)という枠組み条約ができて、国際的な協調の必要性についてはコンセンサスが得られました。実際の具体的な実施プログラムが京都議定書ということになりますが、これはまだまだもめています。同時に、地域的な取組みを各国が始めなければいけません。ここでは教育、技術開発などいろいろ内生化の課題を解決しなければいけないということで、今、その中の技術開発のあたりは日本が非常に熱心に進めていると思います。

具体的な気候変動への対処方法を見ると、ミティゲーションとアダプテーションという言葉があって、ミティゲーションはCO₂の



石谷 久氏 (パネリスト)

(略歴)

昭和64年1月	東京大学工学部資源開発工学科教授
平成7年4月	同大学大学院 工学系研究科地球システム工学専攻 教授
平成14年4月	慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科教授 (現在に至る)

発生を抑える、アダプテーションは出てしまったら、それに対する対応を取るということですが、基本的にはミティゲーションをやっておかないといけません。ミティゲーションの中に何があるかというと、省エネ、高効率化、あるいはエネルギー源の化石燃料からの転換などが挙げられています。

特に鉄道もエネルギー分野の一端なので、エネルギー分野の温暖化対策を見ますと、まず高効率化、これが今いろいろと話題に上っている鉄道の高効率化にも通じます。あとは化石燃料を使うことを少しでもクリーンにしていこうということです。これは、石炭から石油、天然ガスという格好ですが、電力はかなり天然ガスに移行していますので、電気鉄道というのはすでに天然ガス側に移行していると言えます。そして、いろいろ議論は多いのですが原子力への移行、さらに再生可能(クリーン)エネルギーに転換する方向があります。これには水力、風力、バイオマスといった選択肢がありますが、問題はやはりコストと容量です。

企業における対応ですが、簡単に紹介させていただきます。企業における対応は、ISO14000、環境マネジメントシステム(EMS)が最近の基本的な概念になっているのではないかと思います。わたしもこの10年間ほど、この標準化について関わってきましたが、その中で企業活動の環境負荷を低減するという話と、鉄道はサービス業だからあまり関係ありませんが、製品の環境負荷を低減させるという二つの流れがあります。EMSは、どちらかというと企業活動の環境負荷の低減になるわけですが、その中にシステムを構築するという話と環境パフォーマンスを改善していくという二つの流れがあります。

一般の製品については製品の環境負荷を低減する、あるいはサービスについても、LCA的な考え方で環境適合設計をやるという流れがあります。もう一つ大事なことですが、製品を使うのは一般消費者ですから、そちらに対して情報公開して、少しでもマーケットで主張していかないと成立しません。その手段としては、環境ラベルとか環境報告書といったものが話題に上がってまして、これらを用いて消費者に少しでも環境にやさしい製品を理解してもらおうということです。問題になるのは消費者の行動で、これがなかなか日本では難しい気がしますが、もちろん最近は少しずつそういう意識も上がっています。もともとヨーロッパの消費者の行動が原動力になっていたと思います。

その中で、サービス業の環境負荷の改善の効果が消費者に一体どのくらい理解されるかというのは、これからの課題ではないかと思います。サービスというのは、サービスが良くないと環境負荷低減の努力は見えにくいので、「鉄道は少し高くて不便だが環境負荷にはやさしい」といってもなかなか通りません。

ライフサイクルにおける製品の評価も必要です。やはり地球環境を考えると、幾ら最後が良くても最初が駄目であったり、廃棄物の問題があったらやはり駄目だということになると思います。

もう一つ大事なことは、対外的不平等を除去しなければいけないということです。国際標準化の流れがその流れに乗っていて、ある国が一生懸命コストアップして環境負荷を下げても、ほかの国から大量に安い製品が入ってくると意味がないということで、国際標準化の流れもその概念の上にあると思います。グリーン調達とか消費者の教育、あるいは制度規制による促進ということが挙げました。

基調講演にもありましたように、Win-Winといって、環境にもやさしくて、しかも製品としての機能も高いものを開発しなければ結局は勝てないということで、省エネとかCO₂削減の方向を決めなければいけないというのが一般の理解だと思います。あとは、鉄道の中でどういうものがこれに対応するかということを議論していただければよろしいかと思います。

(佐藤) 弊社(石川島播磨重工業(株))もいろいろと環境関係の活動を行っています。我々の設計製造現場での環境対



佐藤 順一氏 (パネリスト)

(略歴)

昭和51年 4月	石川島播磨重工業(株) 入社
平成10年 7月	同、技術研究所研究推進部部長
平成11年 4月	同、技術開発本部管理部部长
平成14年 4月	同、事業企画部部长
平成15年 7月	同、理事、事業企画部部长

策は、これまでのお話にあったように企業として当然やっていかねばいけないことですが、むしろ弊社では「技術をもって社会の発展に貢献する」というのが社是であり、かれこれ150年ほど、企業活動を行っています。古くは明治時代に、東京駅丸の内の駅舎の鉄骨を組ませていただいたり、最初の鉄橋を造らせていただいたりと、100年以上前からのおつきあいで、そのときから社会のインフラの企業として活動してきています。

環境と一口にいても、ごみ焼却に代表される環境、資源の有効活用等のほかに、エネルギー問題も環境のひとつです。どうやって公害や環境負荷の少ない方法で電気エネルギーを得るか、どのように効率的にエネルギーを使うことができるかが重要な問題です。もう一つ、我々が社会で生きていくための環境があります。これは社会資本、福祉、快適な生活という三つの切り口があるかと思います。それぞれについて少し述べていきたいと思っています。

まず、現在、日本のエネルギーのうちの約83%は燃焼で得られています。約12%が原子力、水力が約3%、新エネルギーである風力、太陽光、バイオマスは合わせて1.5%ぐらいです。そういう意味で、全エネルギーの消費で環境にやさしいということは何が重要かと考えますと、自然エネルギーをどんどん利用していくことはもちろん大切ですが、いかにエネルギーを節約するか(省エネルギー)ということが非常に大切な課題になっていることがわかると思います。

発電では20%強が原子力ですから、残りのほとんどは火力になります。火力もいわゆるコジェネ、ガスタービンと蒸気タービンとを組み合わせたものが効率が良く、近年普及してきています。その他に火力としては、エネルギーの安全保障の面からCO₂削減は非常に厳しい問題ですが、国内では石炭が発生電力の20%ぐらい使われています。石炭火力発電所でも、非常に効率の高いものが作られています。現在では、大型の石炭火力は超々臨界圧で、43%程度の高い効率です。また、発電所から出た排煙をクリーンにするための脱硝設備、脱硫設備も環境にとって非常に重要な設備です。

将来の発電装置として燃料電池があります。ここに示しているのは大型のMCFC(炭酸溶融塩型燃料電池)で、現在、1ユニット300kWのものができるようになっています。それから、



図1：エネルギーに関する最近の技術

PEFC(固体高分子型燃料電池)といわれる固体高分子型の燃料電池は今、試験的に自動車用にも開発されていますし、定置発電用にもいろいろと開発され、使われ始めています。

風力発電は大型化してきていて、単機で2000kW近いものができています。羽根の直径が70mを超えるようなもので、塔の高さが100m近いので、だんだんと陸地での立地は難しくなっています。ヨーロッパでは遠浅の海に立てられた例もありますので、今後は海に立てることも検討されると思います。また、日本国内では風の条件のいいところが少なくなっているという非常に難しい問題も抱えています。一方、太陽電池もどんどん性能が上がってきています。これは、太陽電池の製造試験装置で、高効率化、低コスト化を目指して開発が行われています。

次に、環境の分野です。まず生活ごみ、その他産廃をいかに焼却・熔融するかということです。さらに、ここからエネルギーを

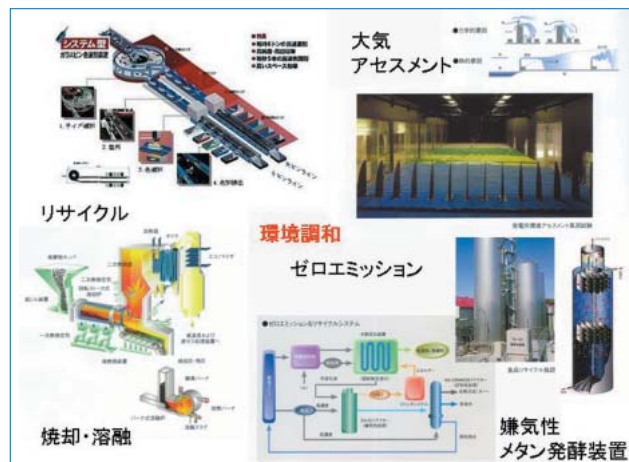


図2：環境調和に関する最近の技術

取るべく、ボイラーで蒸気を起こして発電をし、また余った熱を利用して地域住民の温水プールを造るということも行われています。リサイクルという面では一つの例として瓶の選別機があります。自動的に瓶、ペットボトル等を、色や材質等によって全部分類していく自動のものです。ゼロエミッションですが、一つの例は、食品加工工場の残渣を水熱処理し、固体を液体の炭化水素に変えてバクテリアに食べやすくしてやります。それを用いて嫌気性の発酵を行ってメタンガスを作り発電に利用したり、そのあとの残渣をもう一度有効利用するというシステムです。こうすることによってゼロエミッションを達成することが可能です。大気のアセスメントも非常に重要です。工場や発電所からの煙突の排気が地上に達するか達しないか、排出ガスの濃度が我々の生活環境にとって安全な範囲になっているかということもきちんと把握しなければいけません。また、大きいビルを建てたときに周りの風向きが変わるので、それに対するやさしさも重要な環境問題かと思えます。

次は、生活関係の環境です。まず騒音や振動を止めるということがあります。これは高速の新幹線等でも同じだと思いますが、いかにして音を防くかということで防音壁、吸音材が研究されています。気象条件で音の伝播は変わるので、それをきちんと把握して音を消すということも重要です。次に、制振ですが、ここに示してあるのはガーラ湯沢の制振装置です。ゴンドラやリフトの上に振り子型のおもりをつけて揺れを止めます。そうすると、お客様が非常に安心して乗っていただけることになります。同じ原理で、建物自体の揺れを止めるものもあります。もう一つ、例えばコンピュータールームなど非常に重要なものが載ったところ

の床の揺れを止める装置もあります。生活に対するやさしさでは、例えば交差点、踏切の例ですが、我々はレーザー・レーダーというものを開発し、直接目に入っても安全なレーザを使ってスキャンして、そこにあるものを検知するようにしました。物を検知するだけではなくて、相手の大きさと動いているスピードも全部検知するものです。例えば、交差点ではお年寄りや車いすの方が渡りきらないうちに信号が変わり、お年寄りがあふた走って転ぶという事故もあるので、それを防ぐように信号制御する実験をしています。また、踏切については、図は生麦の踏切での実験ですが、レーザー・レーダーで踏切内のものを全部検知して、遮断機や信号の制御を今後どうしていくかという研究をしています。これはレーダーなので、雪が降っていても雪ダルマが見えるし、また真夜中のカラスも見えるという特徴を持っています。最後に、匂いを消すことです。匂いというのも生活にとって不快なものなので、それに関してはオゾンによる殺菌・脱臭があります。この分野では、駅のトイレ、新幹線トイレ等の脱臭でいろいろと協力させていただいています。

(稲生) 私が長年在籍していた自動車業界についてごく簡単にご紹介させていただきます。公害問題に真剣に取り組みだしたのは1960年の後半だったと思います。最初に大きな社会問題になったのが光化学スモッグです。以来、ごく最近まで自動車業界の基本的な姿勢は、企業経営と環境問題は両立しないというものでした。当時、運輸省や環境省が次期の規制条項を決めようというとき、その案を頂くと業界挙げて、いかにそれが技術的あるいは経済的に困難であるかということを説明して、できるだけ緩い規制値あるいは遅い規制の時期をお願いして、決まるときぎりにクリアするということを数年ごとに繰り返してきました。

この基本姿勢を数年前からガラリと変えて、自分たちで高い目標を決め、それを一日も早く実現していくという姿勢に変換しました。今日、企業存続の最低条件は環境問題に対して真摯に取り組むことで、これ以外に生き残る道はないという自覚と、技術的可能性についての自信を持ち始めたからではないかと思えます。

それでは、皆様からお話いただいたことも踏まえまして、鉄道業、特にJR東日本についてご意見をお聞きたいと思い



図3：生活・住環境に関する最近の技術

ます。

(遠藤) JR東日本の経営戦略あるいは研究開発戦略と同期するのですが、環境問題を考えたとき、基本的には鉄道をいかに魅力的にするか、それが結果として鉄道へモーダルシフトになると考えています。魅力的というのは、安全・安定は当然のこととして、時分短縮を含めた利便性、快適性、それとコストパフォーマンス性という意味です。そうすることによって、鉄道が他の輸送機関と比べて単位当たりの輸送から生ずるCO₂の量が圧倒的に少ないことから考えて、結果、環境負荷軽減につながり、また社会的な責任、役割を大きく演じられると考えています。

そうは言いつつも、私どもはこの膨大な鉄道事業を運営するのに、年間565億MJという莫大なエネルギーを使っています。運転用エネルギーがそのうち72%ということで、そういう意味では、鉄道は、他の交通機関に対して有利と雖も、現状に甘んじることなく環境優位性をさらに高めることが、これからのサステナビリティを含めた企業戦略であり、私どもの研究開発のターゲットだろうと考えています。

私どもは、これまで省エネルギー車両を着実に開発し、大々的に導入してきました(図4)。それを可能にした様々な技術としては、軽量化や回生ブレーキ、あるいはVVVFシステムが大きく寄与しています。2005年度にはそのような車両が80%にするという具体的な目標を立てながら、省エネ車両を着実に導入しています。

それでは、この先省エネ車両のみでいいのかということですが、研究開発部門としては、現在、21世紀初頭における次世代の東京圏の通勤車両を対象に、「ACTレイン」の開発をこの間、進めてきました。



先端鉄道システム開発センター 所長
遠藤 隆 (パネリスト)



図4：省エネ車両の導入

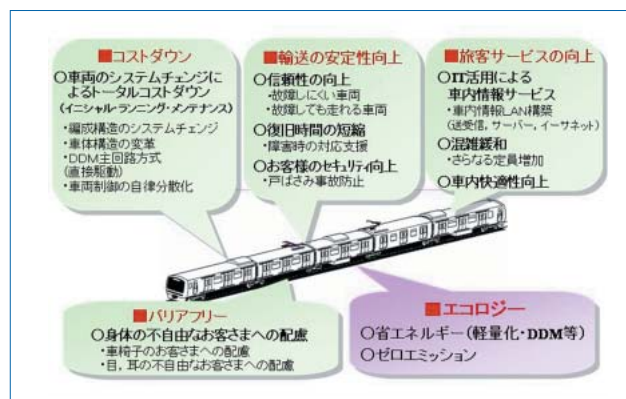


図5：ACTレインの開発

冒頭に言いましたように、鉄道の魅力を高めるための基本的なさまざまなコンセプトを定めて開発を進めてきました(図5)。特にエコロジー問題については、次世代車両ではさらなる省エネルギー、軽量化、それからDDMを使った動力システムの革新を進めました。またある面では本格的なエコデザインを日本で初めて鉄道車両の設計として取り入れたと自負しております。この結果、廃車の段階で産業廃棄物をゼロにするというゼロエミッションにもチャレンジしています。ACTレインは2年間の走行試験を経て、ほぼ実用化の目処がつけました。現在は、具体的な実用化に向けて方向付ける段階まで来ています。

現在、JR東日本の鉄道車両は約13,000両あり、大半は電車です。その電車は、さまざまな技術革新により、単位輸送量当たりの消費エネルギーを2005年度までにトータルで17.5MJ/車両キロとする目標を立てて進んでいましたが、古い電車も入れて実は17MJ/車両キロに達していて、目標以上の進展を見せています(図6)。

るかに悪くなります。

そういうところから見ても、やはり鉄道に魅力がないといけな
いということ、魅力をもって自動車からモータールシフトしなけれ
ばいけないということが非常に重要な結論ではないかと思ひ
ます。

自動車の話を簡単に申し上げますと、自動車はCO₂をいか
に減らすかに真剣に取り組んでいます。まず単体の技術から、
交通インフラの改善、利用形態の合理化、あるいは総合的な交
通運輸体系というように順番に大きいところへ持っていくわけ
ですが、自動車単体でももう相当進んでいて、そこへさらにシステ
ムとしての対応があります。

その中で、最近非常に注目を浴びているのが自動車全体と
しての効率向上ということで、単体の効率化としてのハイブリッ
ド化です。移動体のエネルギー消費は、特に起動時にエネル
ギーを大量に消費して、停止時にはブレーキで消えてしまいま
す。そこを回生にすることが非常に大きな効果があります。

また、走行抵抗は少しでも小さくするしかありません。あとは
伝達の質と、自動車の場合にはアイドリングというのがあります。
これを解決するのには、可能であれば電気自動車がいいので
すが、これは電池の制約があつてなかなか実現しにくいです。
その結果として、ハイブリッド車が出てきました。エネルギーの流
れを見ると、ハイブリッド車は一般の自動車に比べて2倍以上
の効率が出せます。電気鉄道というのはある意味では電気自
動車のいいところ取りをしています。モーターの高効率性が活
用できて、アイドリングはしなくても良いという点です。回生システ
ムもできて伝達機構の損失も低いです。モーターだから可変速
ギアがなくても直結でできます。それから、鉄道は線路の上で
非常に長く後ろに引っ張っていて、自動車みたいに短くないと
いうことで、相対的な走行抵抗が低いです。それから、鉄輪に
よって転がり抵抗が低いです。

そういう意味で回生制動ができ、走行抵抗も低くて、それが
先ほどの効率の差になって出てくる。問題は、やはりモータールシ
フトに障害があることです。そこをどうやって取り替えたらいいか
ということで、これは個人的見解ですが、専用軌道というメリット
と同時にアクセスの利便性が最大の難関になっていて、駅まで
のアクセスや乗り換えの利便性がやはり問題になります。

公共交通で効率を上げるには、やはりお客さまを集めなけれ
ばいけませんから、時隔と経済性が問題です。あるいは、自分
で運転しないということは運転者のコストがかかり、自家用車と
比べて大きな経済性の差が出てくるというところをどうやって解
決するかです。あと、高速走行であることで、逆に安全性の確
保や異常時の信頼性ということが、本当は道路交通よりも安全
だとは思いますが、やはり非常に注目を浴びます。こういうこと
をどうやって解決していけばよいかというのが課題になるか
と思います。

(稲生) 今、鉄道に対する期待と課題ということでお話しいた
だきましたが、佐藤様は実は原動機について大変詳しい方で、
いろいろな原動機を手がけていらっしゃると思います。鉄道につい
てもNETレインというのがありますが、原動機そのものについて
も更なる展開があるようです。そちらの観点から期待と可能性、
技術的な展望を伺いたいと思います。

(佐藤) 図11から言える事は、大型のガスタービンのコンバイ
ンドで約5万kW以上だと50%を超えるような発電効率が出ま
すが、斜めに丸囲いしてあるということは、出力が小さい原動機
は効率が悪い、出力が大きい原動機は効率がよいということ
です。これは放熱が少ないとかサイクル効率がよくなるというこ
とで、そういう意味では発電設備は大きければ大きいほど効率が
よいということになります。ただし、大きい発電所がどこか離れ
た所にあつた場合、送電効率を考えると実際ここまでは利用で
きません。

したがって、例えばNETレインのような場合、どう考えるかとい
いますと、分散電源か集中電源かという使い分けの問題にな
ると思います。非常に電力消費の大きい地域には発電所、消

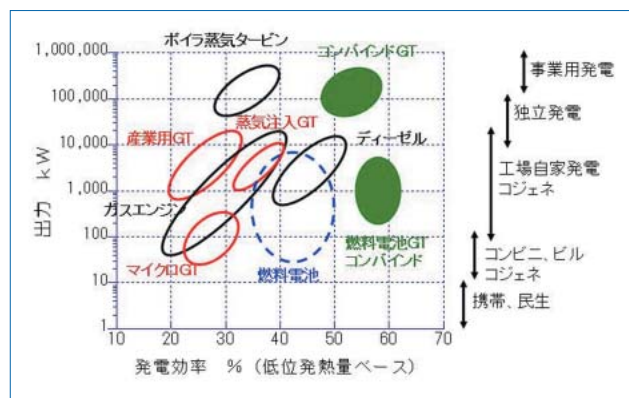


図11：各原動機のサイズと発電効率

費の少ない地域にはNEトレインが向いていると思います。

また、ディーゼルも非常に効率が良く、大型の船のディーゼルエンジンは単機で52%ぐらいの効率です。そういうものを発電に使うということも行われています。

エンジンの利用で重要なことは、100%負荷では効率は良いが、50%負荷になると非常に効率が落ちるということです。したがって、コンバインド発電を例にとると、10万kW必要ならば5万kWを2台のほうが、運用を考えるとトータル効率がよいという場合があります。よく最高効率だけで議論しますが、原動機の熱効率は必ず運用サイクルで考えないとまうかないと思います。

自動車もエンジンの最高効率だけを考えるならエンジンの設計は比較的簡単だと思います。しかし自動車の10モード燃費というのは、最高効率だけではなく運用サイクルをきちんと考えなさいということなのです。これは鉄道に対しても同じことが言えます。NEトレインのような気動車のハイブリッド化は、エンジンの出力が落ちたときの欠点を補う方法の一つです。エンジンが常に最も効率の良いところで動きます。エンジンの設計点が1点だけなので排ガ斯特性も制御しやすいので、NO_xも、有害粒子物質も少なくできます。そのエンジンで発電をして、負荷は二次電池等で賄うというのがハイブリッドの思想です。そうすることによって、副次的にエンジンからの振動も総体的に抑えることができます。

燃料電池の効率は、炭化水素燃料、つまりメタンや灯油を改質したときの水素への改質効率を入れた効率を含めて考える必要があります。水素だけを使うと当然70%とか80%の効率になりますが、改質を入れると数字は悪くなります。したがって、燃料電池の場合には水素をどうやって作るかまで含めたトータル効率が今後議論されていくだろうと思います。

ただし、炭化水素を改質しても比較的低出力でディーゼルに比べ良い効率を出すので、それと二次電池との組み合わせが今後考えられていくだろうと思います。

航空用エンジンでも高効率化の研究がされており、燃焼器圧が45気圧ぐらいと、いわゆる自動車用のディーゼルよりも高いエンジン圧力で作動するようになってきています。一方ガスエンジンも最近いろいろな発電に使われるようになりました。これも単

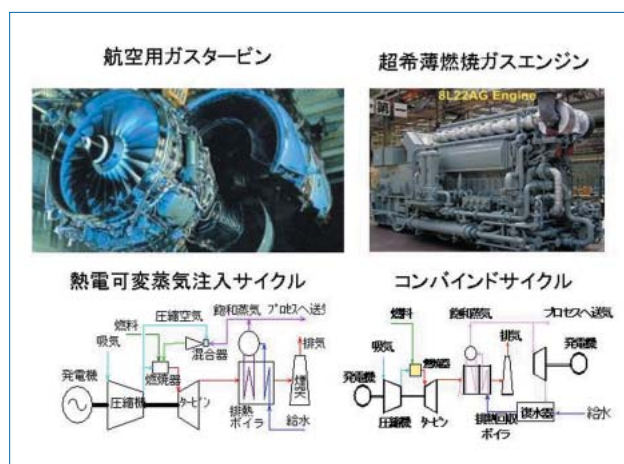


図12：コンバインドサイクル

機で2000～5000kWクラス、発電効率40～43%のガスエンジンが開発されています。

高効率の発電技術として、いわゆるコンバインドサイクルがあります。これはガスタービンの廃熱で蒸気を作り、蒸気タービンでさらに発電をし、総合効率を上げるものです。一方小さい5000kWクラスですと蒸気タービンの効率が悪くなるので、その蒸気をガスタービンの中に注入して、ガスタービンのタービン部分で蒸気タービンと同じ働きを合わせて行なうことで効率向上をする技術が開発され、実用化されています。

このように、エンジンは一歩ずつですが進歩しています。今後の課題は、エンジンの利用という観点から運用サイクル効率とすることを考えて最適化を図ることだと思います。

(稲生) 実は先日、一般の方々に対するNEトレインの試乗会を行いました。その時にアンケートを取ったら、一般の方々もかなり鉄道、あるいはJR東日本に期待を持っていることがよく分かりました。大変貴重な意見なので、遠藤所長から要点だけご紹介いただきたいと思います。

(遠藤) 2003年10月10日、11日に、宇都宮線の大宮・蓮田間で公開試乗会を行いました。ご参加の方は約120名で、有識者の皆様を含め、インターネットで公募させていただいた方にご乗車いただきました。遠くの方も中にはおられ、わざわざ来て乗っていただくということで、ある面では鉄道に対して厳しい目をお持ちで、ある意味クールな目で見ていただいた方も多かったと思います。その集計した結果を簡単にご説明します。

120名の皆様には、失礼な質問もあったかもしれませんが、い

いろいろお尋ねしました。「鉄道は1人を1キロ運ぶのに自動車に比べて非常にエネルギーが少ないことを知っていますか」というご質問に対して、90%近い方がそれは知っているとのことでした(図13)。あるいは、鉄道ばかりではなく一般論としてお聞きしたのですが、「商品やサービスについて、企業の環境への姿勢は考慮しますか」という問いかけに対しては、90%の方がそのとおりだということでした(図13)。

また、鉄道事業の中で最も重要な環境問題、例えばリサイクルの問題や騒音低減等々ありますが、これを率直にお聞きしましたところやはり43%の方が省エネルギーは必要なことである、あるいは廃棄物の削減・リサイクルが26%、それから、やはり騒音・振動の低減が27%ということでした(図13)。

さらに質問をブレイクダウンして、「鉄道車両で最も必要な環境への取り組みは何でしょうか」ということに対しては、省エネルギーが60%くらい、あとは廃棄物の削減とか騒音・振動についても24%ということで、かなりの要望、要求があります(図13)。

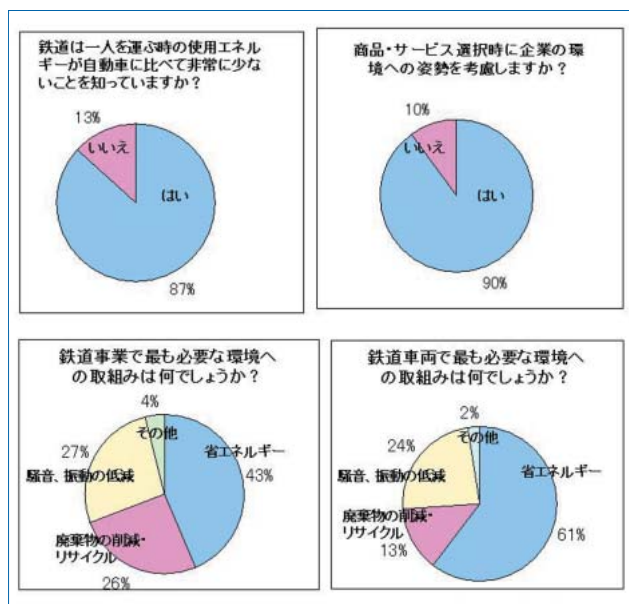


図13：アンケート結果（1）

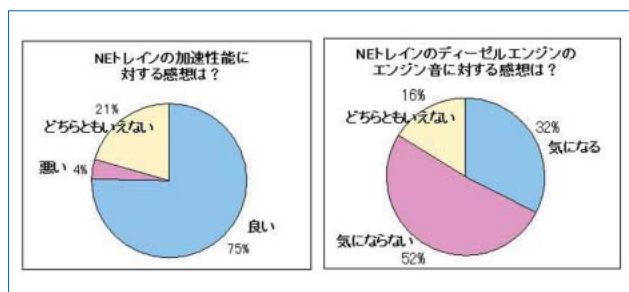


図14：アンケート結果（2）

それから、実際に乗っていただいたNEトレインは、電車並以上の車として仕上げたわけですが、加速性能に対する感想は、想定したとおり4分の3以上の方が良いということでした(図14)。ただ、NEトレインといっても、将来これを燃料電池車両にした場合は別ですが、発電用としてディーゼルエンジンを搭載しており、このエンジン音が気になるという方が3割おられました(図14)。駅停車時あるいは25km/hぐらいまでは一切エンジンは動かないのですが、いざ低速走行の段階でのエンジン音は気になるということです。私どもの将来へ向けての課題はここら辺にもあるのではないかと思います。

いずれにしても、研究開発に携わる者として、環境に対して常に真っ正面から取り組むことがお客様から評価を受けることなのだと、ある面では力づけられもしましたし、またこれからの課題に向けて我々の問題意識を高めることができました。

4 JR東日本の研究開発の現状

(稲生) 一般の方々ならびに学会、官界の方がたの鉄道に対する期待がだんだん明確になりつつある状況にあると思いますが、今日、いろいろ紹介していただいたように、いろいろな研究開発に取り組んで期待にこたえようとしているわけですが、これからの課題として、どんなことをJR東日本の技術陣がしていかなければいけないかということについて率直にご紹介したいと思います。

(遠藤) 私どもは21世紀初頭を目標とした次世代の通勤車両としてACTレインを開発してきました。省エネルギーの面で切り札となるDDMですが、永久磁石同期電動機というジャンルに初のチャレンジをして、基本的にはかなりいいペースで開発が仕上がったと思っています。また、車両の軽量化もかなり進みました。

試算レベルで、現在の最新型のE231系と比べて10%以上の省エネ効果が出ると確信が持てるような段階にまできました。単位当たりの運転消費エネルギーは、2005年度目標を17.5として、電車については17ということでクリアしていますが、これがさらに将来にはさらに低くできるのではないかと考えています。

NEトレインは現在開発途上で、幾つかの課題が熾然としてあるのも事実です。E231系まで開発を進めた電車技術をNEトレインのベースにしましたが、こういった分散型エネルギーシステムにおいて回生エネルギーをいかに完全吸収するかという命題に対して、エネルギーの管理制御システムが実はこの開発の大きなポイントです。また、それを下支えするのが主回路用の蓄電池で、屋根上に目いっぱい搭載されているのがリチウムイオン電池です(図15)。

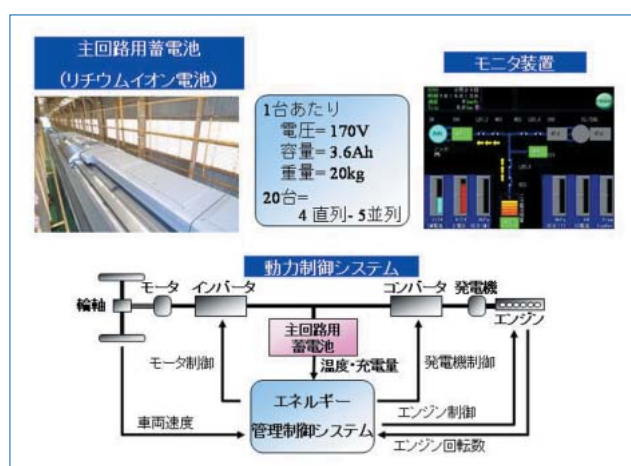


図15: NEトレインの技術要素

実は、どういう蓄電装置を採用するかというところが開発の初期段階での大きな検討事項でした。様々な選択肢があり、検討は鉛蓄電池から始まりますが、自動車のプリウスなどで多用されているニッケル水素蓄電池もあるし、今回我々が選んだリチウムイオン電池、さらに電気二重層キャパシタ、またフライホイールも候補として検討しました。

我々はこのハイブリッドシステムを開発するにあたって、進展しつつある様々な蓄電装置の中で、リチウムイオン電池を選びました。これはやはりパワー密度、エネルギー密度の点で、鉄道車両というかなりパワーを要する、かつボリュームの大きなものには、相対的にこれが最適であるということで選んだわけです。現時点ではまだ単体のコストあるいは寿命の面で課題があります。鉄道会社自身でこれらを開発することはあまり得策と言えず、これらの技術の進展と鉄道をどうマッチングさせるかというのが大きな課題です(図16)。

また将来、このNEトレインに対して燃料電池の搭載を考えています。その大きな理由として、鉄道は我々自身が膨大な地上

蓄電装置の性能比較

	エネルギー密度 (Wh/kg)	パワー密度 (W/kg)	寿命 (cycle)	コスト
鉛蓄電池	△ 40	△ 300	△ 500	◎
ニッケル水素蓄電池	○ 40~70	○ 200~700	○ 1000	○
リチウムイオン電池	◎ 30~130	◎ 30~1400	◎ 1000	△
電気二重層キャパシタ	△ 6	◎ 500	◎ ∞	△
フライホイール	△ ~50	◎ 1000~	◎ ∞	○

図16: NEトレインの技術課題 (蓄電装置)

インフラを保有しながら運営をするという、自動車のように外部的に与えられた条件の中で単体の乗り物が走るのとは違います。また、エネルギー供給面で考えると、発電、送電、変電等々のさまざまな設備や電車線路設備を必要とするということでインシヤルあるいはメンテナンスコストも膨大です。

そういった中で、線区ごとの最適解はあろうかと思いますが、将来の大きな可能性として燃料電池に期待しています。効果としては、地上インフラのスリム化と、場合によっては線路上下空間が大いに利用できるということです。

燃料電池については、今後の大きな10年越しの課題として、燃料電池の高電圧化、長寿命化、あるいは高密度で小型軽量の搭載方法、水素の供給・充填システムにおける大容量化・高速化、さらには、水素等の安全確保の問題など大きな課題が存在しています。

それから、世界最速、世界一快適、あるいは環境調和型というコンセプトのもとに「世界一の新幹線」の開発のスタートを切っています。課題というよりは、必達のプロジェクトとして進めています。新幹線の魅力を最大限に高めて航空機から新幹線へお客様を転移し、鉄道以上にエネルギーを消費している乗り物から鉄道にモダリティシフトすることによって、結果として、環境負荷を低減せしめるということになります。

図17は、到達時間を短縮することにより、いかに如実にモダリティシフトが起こりうるかという実証データです。2年前、パリ〜マルセイユ間は4時間半くらいかかっており、このころの鉄道の航空機に対するシェアは40%を切っていました。これが2001年の夏、開業したと同時にパリ〜マルセイユは60%をはるかにオーバーするシェアになりました。

当社の例で、東京〜青森間は、八戸開業前は4時間半ぐら

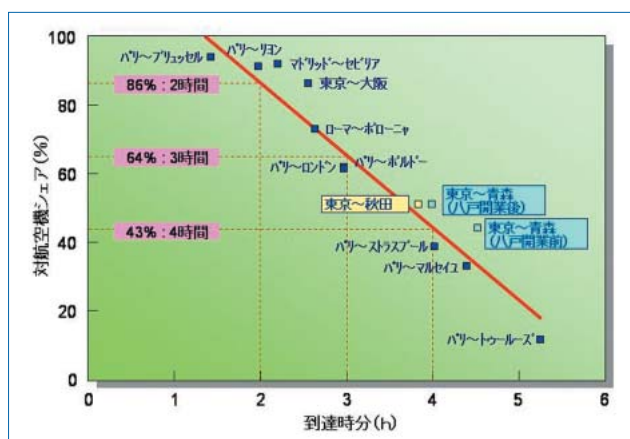


図17：到達時分と対航空機シェア

いかかっていてシェアは43%くらいでしたが、開業して現在は時間的にも4時間程度になって、シェアは50%を大きく超えることとなりました。高速輸送機関においては、スピードアップが確実に鉄道へのモーダルシフトを促すと考えています。

5 環境問題解決のための新技術

(稲生) 鉄道の技術というのは、いろいろな基礎研究の結果や要素技術を組み合わせて一つの大きなシステムにまとめるという、いわゆる複合技術の分野です。その基盤になる分野の進展は非常に不可欠だと思います。

石谷様は、燃料電池について第一人者でもあります。せっかくの機会ですので、燃料電池そのものの最も基本的な技術が今どうなっていて、今後どう進展していくかについてご紹介いただきたいと思います。

(石谷) 燃料電池の話は、私も分からないところが多く、なかなか責任のあることがいえませんが、背景としては地球環境の問題、排ガスの問題、エネルギー安全保障あるいは産業政策ということで、PEM(陽子交換膜)型の固体高分子型の燃料電池を今、自動車会社は必死になってやっています。要するに今の自動車の内燃機関で今後、永久にこれが続けられないという意識のもとに自動車会社は非常に熱心に取り組んでいるのだと思います。

もちろん原理的にも、既に実証されたような形で燃料電池自動車が出ていますが、そうはいってもコストの問題、遠藤様からもお話があった水素のタンクの問題、あるいは燃料そのもの

の系列の問題といった課題が非常に多くて、一体いつ実用化するかは、政府の見解でも2010年までは無理であろうとされています。2020年ごろが自動車としての目標となっていますが、いずれにしても非常に先が長いです。

その途中に技術のオプションがいろいろ出るということで、我々がこういう検討を随分やったときにも、どれかの技術が確実に実現するかどうか分からないが、燃料電池にも何種類かある中で、特にPEM型とSOFC(高温固体酸化)型の電池などの可能性を見きわめながら、途中で見直ししながらやっていかなければいけません。ただ、そのための導入段階や基盤整備は国がやっていかなければいけないのではないのかというのが一般認識だと思います。

したがって、鉄道自体でもそういう基礎研究をなさることが必要だと思いますが、鉄道だけではなく燃料電池の基礎的な開発まではできかねると思いますので、その辺の評価をきちんとやって、そしてCO₂をトータルで削減するには一体どういうルートがあるかを見極める必要があります。自動車の場合にはインフラの問題、あるいは途中の燃料変換経路で随分ロスがありますが、鉄道の場合には自動車とは随分違ってインフラが集中しています。そういった独自の評価のもとで最適なものを選ばれることが必要ではないかと思います。

(稲生) 佐藤様も分散型エネルギーや集中型エネルギーについて随分ご検討なさったとお聞きしていますので、そういう観点からもアドバイスをぜひ頂きたいと思います。

(佐藤) 燃料電池の開発は非常に難しいところがあって、本格普及がいつになるかは、我々も一生懸命やっていて気をもんでいるところです。

たまたま先週、ドイツに行ってICEに乗って、車内誌を見ていたら、ちょうど環境特集をやっていました。「鉄道はCO₂や総エネルギーを減らします」とありました。もともとドイツは日本より悪かったもので、1990年に比べて2003年末までに18%減らそうという目標と実績が書かれていました。

また、引き込み線用のガスエンジン機関車の話がありました。よく天然ガスのバスが走っていますが、その鉄道版です。

騒音の問題に関する記述も多くありました。ヨーロッパは騒音のことを非常に気にしていて、鉄道の騒音というのは自動車

その他に比べると近隣に与える影響は少ないが、それでも減らそうということで防音壁の設置を進めています。それから、音の発生が非常に少ないブレーキの開発、また線路の改良、平坦化を一生懸命進め、全体を統括して騒音をコントロールしていくことが必要だろうということです。

あと非常に面白い記事で、運転のスキルアップで電力消費を10%減らすということが書かれています。これは運用のトータルエネルギーマネジメントを図って、かなりの量のエネルギーを減らせると思っていますということです。

6 JR東日本に対する期待

(稲生) それでは、お二人のパネリストの方にJR東日本の技術陣に対して、こういうことをやったらどうか、こういうことを期待しているということを一言ずつお願いしたいと思います。

(石谷) 基調講演にもあったように、ハードの研究と一緒にIT技術などのソフトのちょっとした工夫で、随分鉄道に人を呼び込めると思っていますので、そういったことも軽視せずにぜひやっていただきたいと思っています。

(佐藤) 今、石谷様がおっしゃったことと非常に近いのですが、鉄道というのは人間的なもの、一つの文明だろうというのが私の考えです。例えば、文明開花といえは鉄道の絵が最初にありますように、鉄道は、人間が考えて線路をあるところに敷いて、人間の考えた時間のスケジュールで動かすという、人間が考えたものといえるかと思います。それに対して、自動車は馬車を発展させたものであり、飛行機というのは鳥に乗って飛べたらという発想から出発したものです。それに対して、鉄道というのは人間が考えたシステムです。したがって、次の文明を考えて鉄道の将来を議論すべきでしょう。

ドイツでもJR東日本と同じようにレール・アンド・レンタカーがありますし、さらにはレール・アンド・レンタバイクや自転車の車内持ち込みも一部行なっています。要は、利用者の観点から他の移動手段との共生の試行だと思います。これらを踏まえて文明を作るという観点から次の技術課題を見据えて技術開発を行っていただければと思います。

(遠藤) 大変ご示唆に富んだお話だと思います。環境という

ことで、あえて石谷様のお話にあるようなIT活用によるお客様へのサービス向上に関するお話はいたしませんでしたが、実は先ほどご紹介したACTレインの開発においては通勤車両であっても、むしろ自動車に乗っている、あるいは外界にいるよりも非常に多くの情報が、列車に乗ることによって得られるという魅力をつけていくようなことに思いをはせて、開発に盛り込んできた経緯もありました。ちょうどご示唆を頂きましたので、我々が進めていこうとしていることは、まだまだそれで十分だとは思っていませんので、さらに努力していきたいと思います。

また、佐藤様からドイツでの大変ホットな情報がありました。鉄道というのはある面ではその国、あるいはそのエリアにおける文化を我々は作っているのではないかという気がします。

そういう面で、例えば当社の場合、JRになってから新幹線による通勤という概念が生まれ、そのためにギネスブックにも載るような、オール2階建てで通常の列車よりも25%も座席を増やした新幹線車両を開発しました。結果として環境面でも1人当たり25%の省エネルギーになっているわけです。そういう輸送システムを東京における長距離通勤ということで私も導入しました。多分世界的にもあまり例のないことではなかったかと思います。

まさに文化というか、そこでの生活のありさまを鉄道が変えて進化させていくのです。そのためにさまざまな先進的な技術をフランクに見つめて、鉄道に取り込み、それをアレンジして鉄道を高めるということに、私もJR東日本の研究開発センターとしても真っ正面からさらに取り組んでいきたいと思っています。

7 おわりに

(稲生) この辺でまとめさせていただきます。ハードに加えて、今の石谷様、佐藤様から、ソフトのいろいろな魅力づくり、大変よい励ましのお言葉を頂きました。解決しなければいけない課題は本当に難しいことと思いますが、ここにいるJR東日本の関係者一同、全力を尽くしてその解決に当たり、地球環境に対して貢献するというをお誓いしながら、このディスカッションを終わりにさせていただきます。