

## JR-EAST Innovation 2013 特別講演

# 「Energy Trend in Germany」

ドイツ鉄道CTO 兼 DBシステムテヒニク会長 ハンス・ピーター・ランク 氏

1985年アーヘン工科大学卒。鉄道車両開発エンジニアとしてMBBに入社後、MAN、アドランツにてICE共同プロジェクトに携わる。1999年にドイツ鉄道の車両システム・走行技術部門長に就任。2000年以降ドイツ鉄道子会社のDBシステムテヒニクにて様々な部門の要職を務めた後、2011年からDBシステムテヒニク会長に就任。ドイツ鉄道エンジニアリング部門長、最高技術責任者 (CTO) を兼務。



### 1. はじめに

本日皆さまの前で発表できる機会を大変光栄に思います。これも、さまざまな分野で密接な意見交換を積み重ねているJR東日本とドイツ鉄道の素晴らしい協力関係の証しに他なりません。

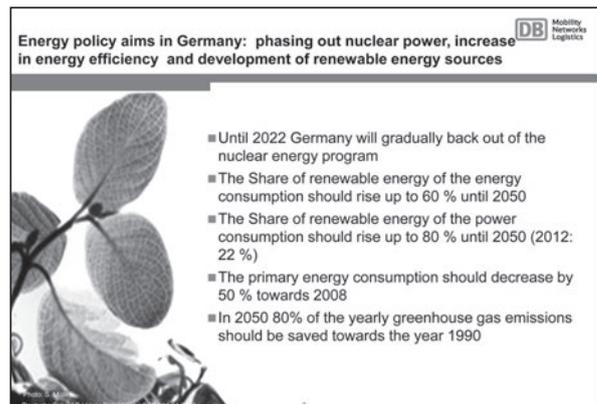


ヨーロッパの鉄道は日本と同様、現在大きな課題に直面しています。日独両国の政治的、社会的環境は大きく異なり、そのため両国の鉄道へのビジネスモデルも異なるものになりましたが、20年以上にわたるJR東日本との協力関係により、技術の面ではしばしば共通の課題に直面していることが分かります。その中で最も重要なテーマはエネルギー供給、エネルギーコスト、そして当然ながら省エネ対策であります。おのおのの企業が構築するコンセプトをそれぞれの社会的、政治的文脈に位置づけ、そこから導く戦略を正しく理解するため、そのコンセプトが考案された枠組み上でも理解する必要があると思います。それではまず、皆さまにドイツのエネルギー政策の目標について説明したいと思います。とりわけドイツのエネルギーシフト、すなわち化石燃料、そして特に原子力を再生可能エネルギー

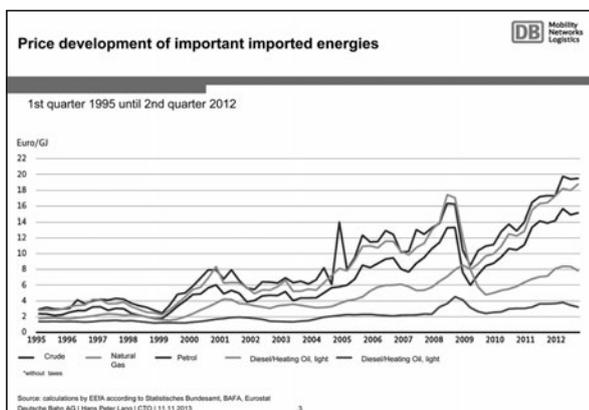
で代替する点について説明いたします。

ドイツのエネルギー政策が目指す姿は、安定した負担可能な価格で、また、環境に配慮したエネルギー供給で、同時に産業立地としてのドイツの将来を保証するものです。ドイツ政府は2020年までの段階的な脱原発を目指しており、そのために2050年までに再生可能エネルギーの総エネルギーに占める割合を60%まで増加させる目標を掲げています。それまでに一次エネルギー消費を2008年比で50%減らし、2050年までの年間の温室効果ガス排出量を90年比で80%削減する予定となっております。

安定したエネルギー供給には、一次エネルギー源の十分な資源埋蔵量が必要不可欠な条件になっています。地球の在来型エネルギー資源の60%は石炭、褐炭が占めております。それ以外に非在来型エネルギー、つまりオイルサンド、オイルシェール、タイトガス、シェールガスなども大きなポテンシャルを占めているのではないかと考えられます。技術的進歩、また、エネルギー価格の上昇により、それらのエネルギーの開発の経済性も期待できます。しかし、それらのエネルギー開発が環境に及ぼす影響を考えると、ドイツをはじめ、多くの国で賛否両論があります。

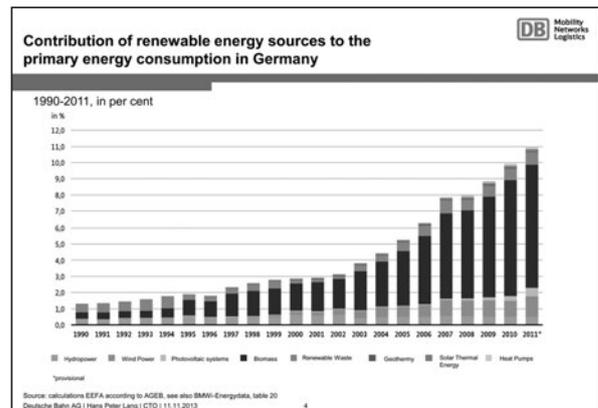


次のチャートですが、これは主要な輸入エネルギーの価格の推移を表しています。価格は継続的に上昇し、また、2008年、2009年の経済危機、金融危機により価格は一時期暴落しましたがその後また回復し、そして今また上昇を続けています。2002年、2003年の価格上昇はエネルギー枯渇によるものではありません。近年、アメリカも資源の輸入国から輸出国へと転じたわけですが、この上昇はエネルギーの需要の上昇、とりわけ中国とインドの需要によるものです。依然として石油、石炭、木炭はドルで取引されています。それゆえ、為替レートの変動は価格にも大きな影響を与えているわけです。このグラフは一次エネルギーの価格が今後も継続的に、そして、より急激に上昇することを明確に表しています。

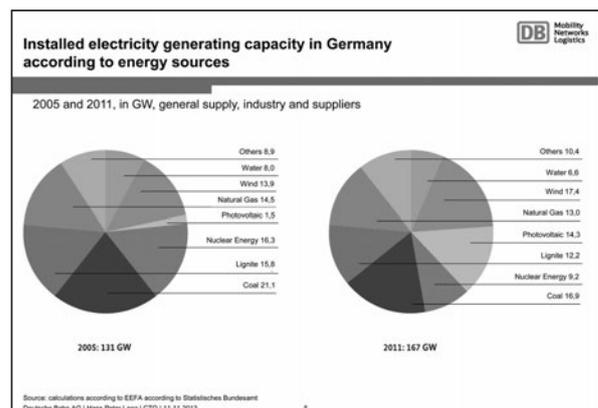


### 1.1 ドイツのエネルギー事情

では、ドイツの状況を見てみましょう。ドイツには独自のエネルギー源があります。石炭、褐炭の資源埋蔵量が豊富で、現在の国内需要量を十分に満たしています。また、石油、天然ガスも少量ではありますが、一定の埋蔵量を有しています。しかし、特に石炭の採炭費用が高く、採算が取れていません。褐炭は、露天掘りが主流であるため、膨大な面積が必要となります。そのため、総エネルギー消費に占める国内産エネルギーの比率が年々減少し、2012年には輸入が70%に達しました。当然ながらエネルギー輸入が増えれば増えるほど、一国の経済は世界市場の価格および量の変動に左右されます。しかしエネルギーの供給源を多様化することで、このようなリスクをある程度軽減することはできます。一次エネルギーに占める再生可能エネルギーの拡大は輸入エネルギーの依存の減少にも大きく貢献することができます。1999年から2011年の間、ドイツにおける風力、水力、バイオマス、太陽光発電などの再生可能エネルギーのシェアは大きく変わりました。1.3%から11%に伸びて、現在もまだ上昇中です。再生可能エネルギーは主に国内で生産され、輸入はごくわずかです。一次エネルギーは直接利用することは不可能で、転換、加工された上で利用されます。転換プロセスの最も重要な部分が発電になります。



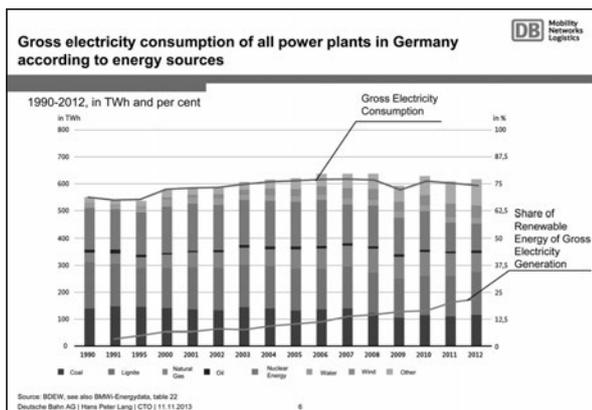
こちらはドイツにおけるエネルギー単体別の発電容量、導入量ですが、2005年と2010年の比較から変化が読み取れます。例えば原子力比率が14.3%から9.2%に減少したのに対して、風力発電の導入量が58%も増加を見せています。また、太陽光発電の容量はこの間、10倍にも増えました。



再生可能エネルギーは風況や日照に左右され、常時利用できるわけではありません。従って、ベースロードは従来の発電で賄われておりますが、それでも2012年には総発電量における再生可能エネルギーの割合は22%に達しました。しかし、この比率をさらに上昇させるためには、ドイツはさまざまな課題を克服しなければなりません。風力発電は主に北部で作られるのに対して、消費者はほとんど西部あるいは南部にいます。ソーラーエネルギーも同じく常時利用することは不可能です。このような状況の中で、再生可能エネルギーをさらに拡大するためには、発電のサイクルと消費のサイクルを合致させる必要があります。つまり、発電場所から消費の場所までの送電もまた、蓄電技術の開発が前提になるわけです。

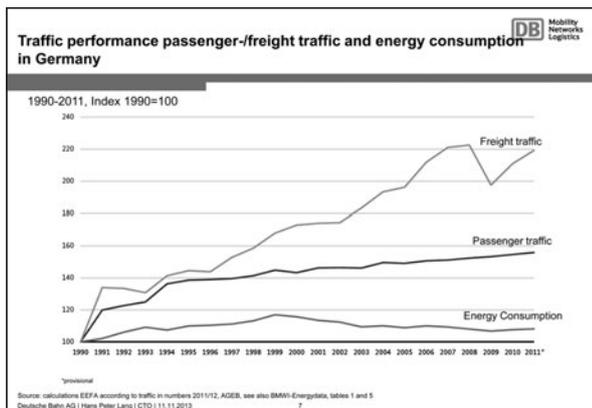
# Special feature article

ドイツ政府のもう一つの目標は、温室効果ガスを2050年までに90年比で80%削減することです。すでに2012年に約25%の削減を達しており、97年の京都議定書の目標を上回っております。この温室効果ガス削減に大きく貢献したのが、ドイツ統一後の東部ドイツの設備の改修および近代化でした。ただし2050年までの目標を実現することは、はるかに難しくなると見られ、また、相当な資金も必要になるでしょう。以上、ドイツのエネルギー政策の概要を説明いたしましたが、これから輸送部門にテーマを移したいと思えます。



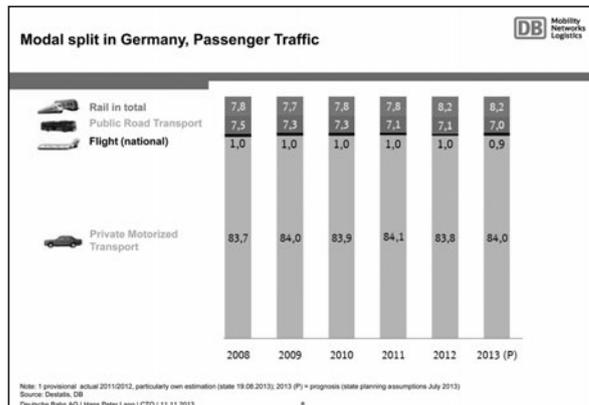
## 1.2 輸送実績

このチャートは1990年から2011年までのドイツの輸送実績を示しています。モビリティや分業が進む現代社会において、とりわけ貨物輸送が継続的に伸びています。貨物輸送のグラフでは2008年、2009年の経済危機の影響が明確に表れています。しかし同時にその後の景気回復もこのグラフから読み取れますし、今後も輸送部門の増加が見込めることが明らかです。

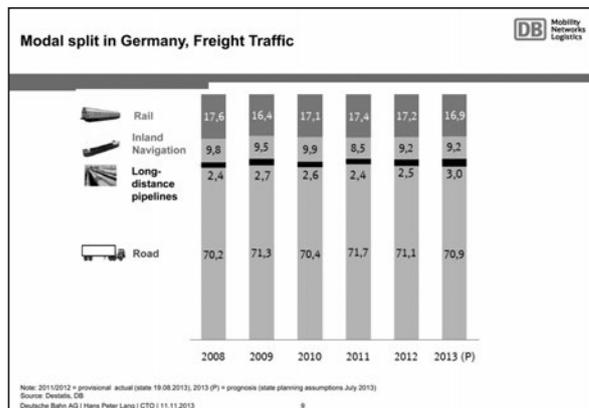


残念ながら輸送に占める鉄道の割合はそれほど高いものではありません。いわゆるモーダルスプリットは各輸送モードの割合を表しています。これは、旅客部門では鉄道は現在8.2%になっております。2008年以前、鉄道の割合は減少の一途をたどっていましたが、2008年以降、鉄道の比率はやや拡大させることはできました。この鉄道旅客輸送には、長距離、近距離、そしてもちろん都市鉄道も含まれます。バスによる近

距離輸送が減少して、他方、マイカーの近距離移動が主流になっていることもこのグラフから読み取ることができます。全体として、鉄道の輸送量実績が年約2%の上昇を示しています。

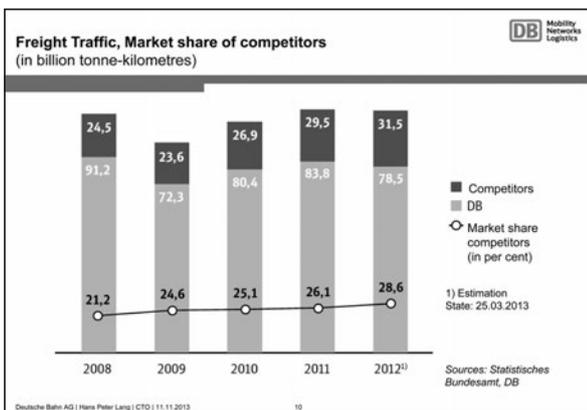


こちらは貨物輸送のモーダルスプリットとなります。こちらも道路の輸送が71%と圧倒的に多くなっております。またそれに対して鉄道の比率が17%前後で推移しています。長年輸送量が過剰ともいえる増加を続けた後、南欧諸国の財務危機を受けて、鉄道輸送のシェアがやや減少し始めています。しかし、絶対数で見た場合、貨物部門でも鉄道は大きな割合を占めています。2008年のリーマンショック以前、ドイツでは貨物輸送の実績が1160億t・kmに及んでいました。それは絶対的にはドイツ鉄道網の歴史上最高記録になっていました。その後経済危機の影響も受けて、実績が2012年には5%減、1100億t・kmになりましたが、長期的には鉄道の貨物輸送は成長することが見込まれています。例えばドイツの鉄道の輸送実績は2002年から2011年の間、約36%も増加しております。

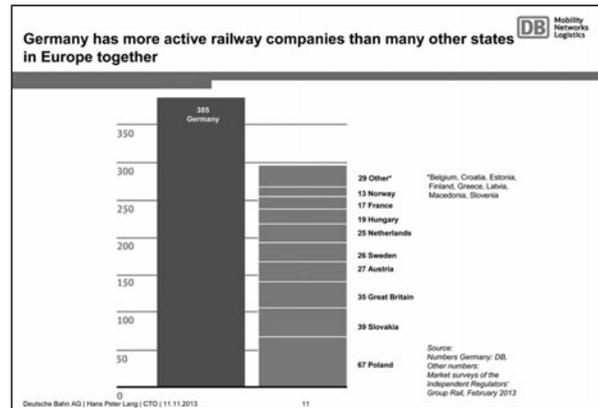


### 1.3 ドイツとヨーロッパの鉄道市場自由化

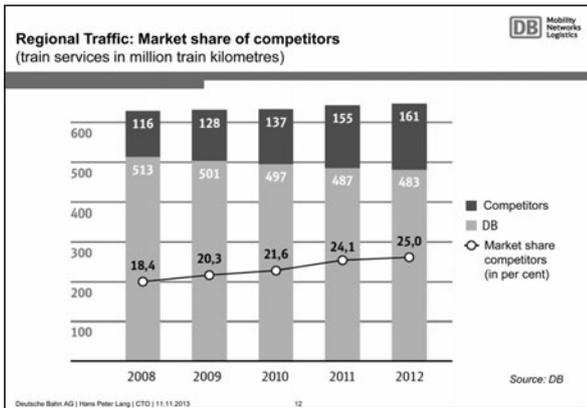
では、ドイツおよびヨーロッパにおける輸送、鉄道輸送事情の競争、また今後、ドイツの鉄道網のさらなる発展において、ドイツ鉄道にどのような可能性があるかをご理解いただくため、ドイツとヨーロッパの鉄道の競争体制について、少し補足説明をさせていただきます。EUにおいて、民間鉄道会社間の競争は鉄道輸送の改善や拡大のための重要な要素とみなされており、ヨーロッパにおける旧国鉄の自由化は国によってかなりのばらつきが見られます。例えばイギリス、スウェーデン、ドイツでは市場が自由化されているのに対して、少なくとも旅客輸送においていまだに市場がほぼ閉鎖されている国もあります。ドイツ鉄道輸送の自由化のきっかけとなったのは1994年のいわゆる鉄道改革でした。この改革は民間企業であるドイツ鉄道を誕生させただけでなく同時にドイツ鉄道市場の競争環境を整備することにもなりました。



鉄道改革のもう一つ重要な要素は、公共部門における緊急輸送への入札制度の導入でした。すなわち事前に提言された具体的な品質基準に基づく近距離、地域の輸送の発注、入札です。つまり国鉄時代の国による赤字補てんに代わってパフォーマンス、実績に対して対価を支払うという原理が導入されたわけです。その際の発注は都市や地域の交通利便性の責任を担う連邦州が行います。ドイツでは長距離輸送、貨物輸送は公共事業として融資を受けるのではなく、経済的独立のある事業として運営されています。その後1994年以来、輸送サービスは堅調な改善を成し遂げました。近距離、長距離の魅力は増し、また、ドイツでは400以上の鉄道会社が存在するようになりました。これは他のヨーロッパの国々の鉄道会社を上回る数字であり、また、同時に鉄道サービスの質の向上、また、コストの削減もそれによって実現させたのです。



鉄道自由化の度合いを表す指標となるのがドイツ鉄道の競合他社の輸送シェアであります。近距離の交通では、ドイツの列車総キロ数に占める競合他社のシェアが継続的に今、伸びております。2012年には25%にも達しています。とりわけ海外からの国鉄系の会社、例えば、フランスSNCF、イタリアのSF、オランダの国鉄の子会社が堅調な実績を見せています。しかし、長距離では依然としてドイツ鉄道がシェアの大半を占めています。これは競合他社の市場参入を阻止しているからではなく、経済的に独立した長距離輸送運営のために膨大な車両への投資が必要であるといった参入障壁によるものです。ドイツでは貨物輸送は自由競争のもと、また、国家支援を受けることなく行われています。この分野においても、競合他社の実績が伸びていることが、競争が機能していることを証明しています。2012年の競合他社の総t・kmに占める割合は30%弱になっております。ドイツ、ヨーロッパの鉄道貨物輸送の中期的、長期的展望は明るく、ドイツに関しては2020年から2030年には年間2.5%近い成長が見込まれております。このような楽観的な見通しの背景にあるのは今後も成長するグローバルな取引、あるいはヨーロッパの湾口、港湾を経由する輸出入の増加予測があります。しかし貨物輸送の成長予測が現実になるためには、品質、柔軟性、そして価格などの市場ニーズへの対応が前提となるわけです。そこで継続的に上昇するエネルギーコストや人件費は事業者にとっての中心的課題になるでしょう。これらのコスト以外にも事業者は防音措置やヨーロッパの一級輸送、つまり総合運用の改善など、高額投資の負担を負わなければなりません。



## 1.4 ドイツ鉄道について

ドイツにおける競争関係について述べてまいりましたが、次にドイツ鉄道についてご紹介します。ドイツ鉄道株式会社は三つのビジネスユニットからなっています。それらを持ち株会社が統括しています。株主はドイツ連邦政府です。まず旅客輸送ユニットですが、遠距離輸送、地域輸送、および海外事業のArrivaで構成されています。次にビジネスユニットのDBシェンカーは、ヨーロッパの貨物輸送部門およびロジスティクス部門で構成されています。ロジスティクス部門はワールドワイドなサービスを提供しています。ドイツ鉄道はドイツ国内におけるインフラ事業も行っています。このビジネスユニットは、DBネットツェといいますが、鉄道網、軌道、駅、そしてエネルギーのそれぞれ独立した会社から構成されています。つまりドイツの鉄道のエネルギー供給はドイツ鉄道グループの独立した会社が担当しており、全ての鉄道会社に対して差別することなく電力とディーゼル燃料といったエネルギーを供給する使命を負っているのです。このためにドイツ鉄道は、市場で電力と燃料を調達し、約7800kmに及ぶエネルギー供給網、および独自の変換器と変電所を運営しています。さらにDBエネルギーは鉄道電力システムの負荷マネジメントを担当しています。とはいえ、ドイツのインフラの一部としてこのDBエネルギーも国の厳格な規制を受けています。鉄道会社間の競争にエネルギー価格が影響を及ぼしてはいけなからです。このように、ドイツ鉄道は、鉄道事業とインフラ事業のいずれも運営しているため、いわゆる上下分離ではない、統合された企業グループであります。ただインフラ事業、保守、およびドイツ国内の鉄道網の整備には、非常に複雑なメカニズムが存在しています。国がインフラ整備と維持のための法的責任を負う一方でドイツ鉄道は事業者として安全と品質に対する責任を負っています。同時に他の鉄道会社に対しても、差別なく鉄道網を使えるようにしておかなければなりません。このような役割分担、インフラ整備と維持のための資金調達メカニズムおよびドイツ鉄道の競争会社に対しても鉄道網への自由なアクセスを可能にするというテーマについては、長年にわたり政治的なレベルで活発に議

論が行われております。EUレベルにおいてもそうです。

**With its nine business divisions DB is active in all segments of the transport market**

- DB BAHN**
  - Passenger Transport: Domestic and European-wide mobility services
  - DB Bahn Long Distance: Long-distance rail pass. transport<sup>1</sup>
  - DB Bahn Regio: Regional/urban pass. transport (GER)
  - DB Arriva: Regional/urban pass. transport (EU)<sup>2</sup>
- DB SCHENKER**
  - Transportation and Logistics: Intelligent logistics services via land, air and the sea
  - DB Schenker Rail: European rail freight transport
  - DB Schenker Logistics: Global logistics services
- DB NETZE**
  - Infrastructure: Efficient and future-oriented rail infrastructure in Germany
  - DB Netze Track: Rail network
  - DB Netze Stations: Traffic stations
  - DB Netze Energy: Traction current

DB Services<sup>3</sup>  
Integrated range of services

## 1.5 総括

ここまでの総括ですが、ドイツの鉄道網では激しい競争が展開しています。380社以上に及ぶ鉄道会社が、この数は他のEU加盟国を合わせた数より多いのですが、この鉄道網で列車を運行しています。近距離輸送サービスは州や自治体が事業主体となり、車両の装備や交通サービスの品質については私たちと一緒に決めるようになってきました。このように、ドイツの鉄道における役割分担は複雑であります。そのため、鉄道システムの開発は、ドイツ鉄道の戦略だけではなく、多くのパートナーとの関係や競争の適法性、競争関係にある全ての事業者が差別なく市場アクセスできるようになっているかを考慮しながら行われております。そのため鉄道システムにおける変更は合意形成があつて初めて可能となり、時間がかかります。とはいえ、上下統合会社であるドイツ鉄道はドイツおよびヨーロッパの鉄道システムに対し決定的な責任を負っています。このような背景を理解した上で、ドイツ鉄道グループの戦略を理解する必要があります。

**Megatrends in the transport market are causing dramatic changes in DB's market and competitive environment**

- Globalization**
  - Growth markets are emerging in Asia and Eastern Europe
  - Outsourcing is on the rise
  - Global flow of goods is increasing
- Climate change and dwindling resources**
  - Rising prices for fossil fuels
  - CO<sub>2</sub> - reduction
  - Reaching the limits of environmental pollution
- Liberalization of the European market**
  - Further liberalization of rail transport
  - Pressure on the public purse
  - Outsourcing of public responsibilities
- Demographics**
  - Changing age structure
  - Varied regional development, trend towards urbanization

## 2. ドイツにおける環境の取組み

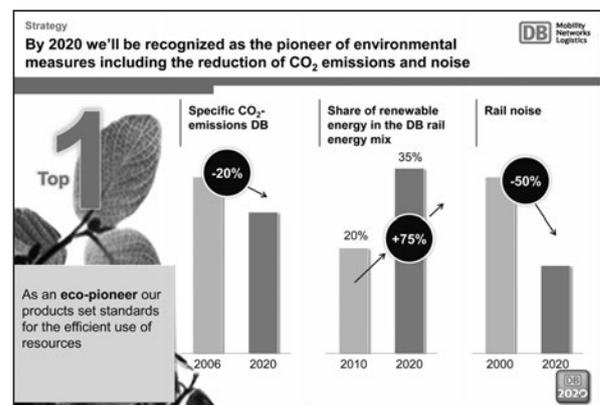
### 2.1 ドイツ鉄道グループの戦略

ドイツ鉄道は、2011年に2020年までの目標と方針を定めた戦略を策定しました。そのドイツ鉄道グループの戦略について、本日の講演のテーマと関連させながら説明してまいります。戦略策定は、交通市場における主要なメガトレンドを分析することから始めました。ますます進むグローバル化は長期的に世界的な取引の流れを増やしており、その結果交通需要が高まっています。この点はすでに述べました。EUの政策として鉄道分野での競争を強化することが表明されているので欧州における鉄道交通の自由化は進むでしょう。ヨーロッパの鉄道網への自由なアクセス、これは貨物であれ旅客であれですが、鉄道交通の国際化は一層進むことになるため、これからは一国だけの解決策では技術的な問題においてもはや対応できなくなってきます。同時に国の財政は厳しい状態にあります。国のインフラや近距離交通サービスのための投資のための財源は切迫しております。すでに現在、期待される交通サービスを行うためのインフラ整備維持の財源が不足しています。また、ドイツのみならず世界的に見られる少子高齢化は、国民のモビリティに対する要求に大きな影響を与えています。人口が都市部に集まり、地方の交通が後退しつつある傾向は、すでに現在ドイツに現れつつあります。また、職業に一層のフレキシビリティを求める傾向は、高齢化社会にあって、モビリティに対する要件を高めています。このようなトレンド分析に基づき、ドイツ鉄道はあるビジョンを策定しました。「世界でトップのモビリティとロジスティクス企業になる」というものです。そのための前提条件は企業として持続的に成功すること、そして社会に受け入れられることが大事であります。ドイツ鉄道グループの戦略の中核なすのは、それぞれ同じ重さのある三つの次元です。まず、①経済的次元での目標。ドイツ鉄道は収益力ナンバーワンのマーケットリーダーになることを目標に掲げています。②二つ目が社会的次元における目標。ドイツ鉄道は、ドイツでトップテンの雇用者になることを目指しています。そして③三つ目が環境という次元での目標。ドイツ鉄道は、環境におけるパイオニアになることを目標にしています。これらの次元は、全て同じ重さを持っており、これが、私たちが目指す持続可能な企業理念であります。この明確な目標設定は詳細にブレークダウンされています。



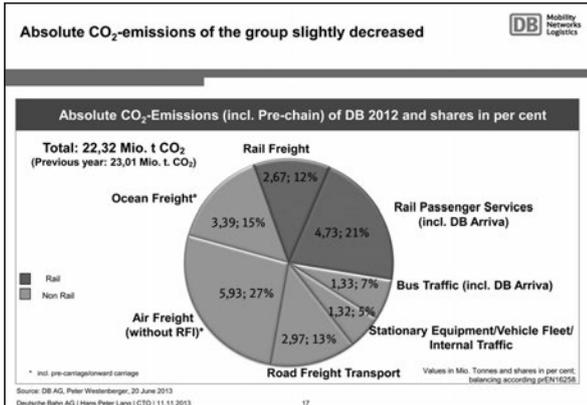
### 2.2 環境におけるパイオニア

本日の講演では環境という次元に焦点を当てています。環境パイオニアになるという目標は主に三つの具体的な下位目標にブレークダウンされております。目標として設定したのは、(1)ドイツ鉄道の事業活動により生じる固有のCO<sub>2</sub>排出量を2006年比で20%減らすこと、(2)ドイツ鉄道の電力構成における再生可能エネルギーの割合を2010年の20%から2020年には35%に引き上げること、そして(3)鉄道輸送で生じる騒音を、2000年から2020年までの間で半減させることです。騒音低減の目標については本日の講演では詳細には立ち入りません。というのも、これだけで講演のテーマになるほど内容が深いからであります。ただこれだけは申し上げておきたいと思えます。ドイツでは騒音は主に貨物輸送によって生じています。貨物列車は特に夜間、ほぼ全ての線区で住宅が密集する地域でも走行します。貨物輸送は増えており、有効な騒音防止対策なくしては国民の理解を得られない状況になっています。騒音が改善されなければ、速度制限や貨物輸送の多い路線が夜間走行禁止になってしまう可能性があります。しかし、本日の講演のテーマは鉄道におけるエネルギーミックスと省エネでありますので、ここでご紹介した目標を背景にドイツ鉄道におけるCO<sub>2</sub>排出およびエネルギーミックスの現状についてお話していくことにします。

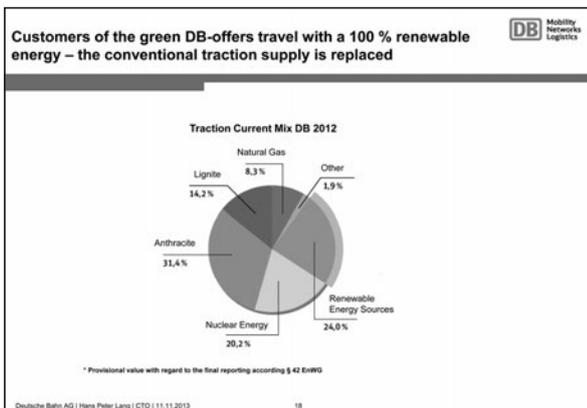


## 2.3 CO<sub>2</sub>排出量とエネルギーミックス

ドイツ鉄道の事業活動において、2012年の1年間のCO<sub>2</sub>排出量は合計で2232万tでありました。全部で55%を占めているのが海上輸送、航空輸送、陸上貨物輸送で、これらは弊社のグローバルロジスティクスビジネスが行っております。鉄道貨物輸送と旅客輸送はCO<sub>2</sub>総排出量の3分の2を占めています。



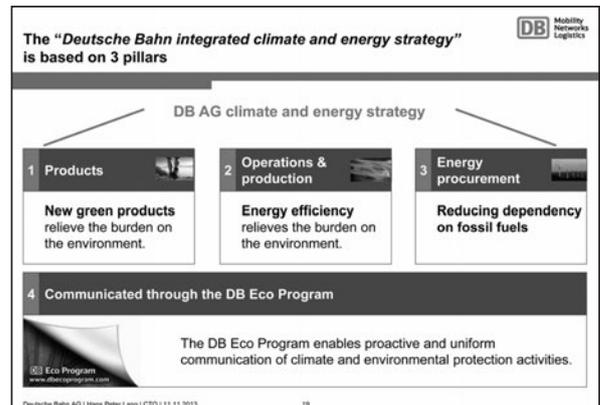
では電力構成はどうなっているのでしょうか。すなわち、電力供給の一次エネルギーの構成はどうなっているかということです。2012年のエネルギーミックスを表したものがこのチャートです。鉄道においてもやはり、45.6%が石炭と褐炭からで、天然ガスが8.3%、原子力が20.2%となっています。しかしすでに24%が再生可能エネルギーからの電力です。再生可能エネルギーは、水力、風力です。太陽光発電は少量ですが、公共の50ヘルツ送電網から購入しております。2006年から比較すると倍増しております。



## 3. 環境目標達成のためのアプローチ

ドイツ鉄道は環境における目標を達成するためにどのような対策をとっているのか、またその際、どのような技術的、政策的課題があるのでしょうか。エネルギーミックスにおいて、再生可能エネルギーを増やすことで、CO<sub>2</sub>排出量削減にも貢献できます。

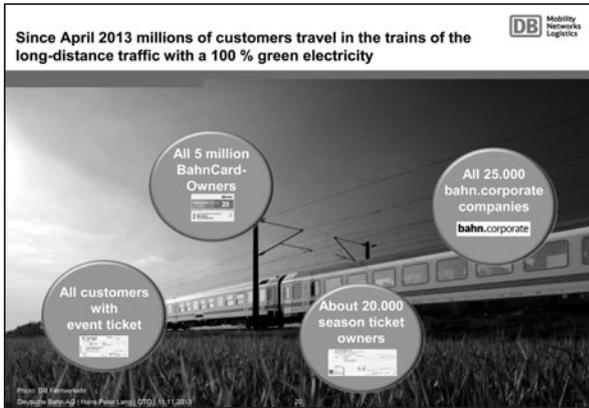
ドイツ鉄道は目標達成のために三つのアプローチをとっております。そしてこれらを明確に発信しています。一点目が新しい、いわゆるグリーンプロダクトの開発。これについては後ほど説明いたします。二点目が、技術的、および運行上の対策による省エネ。三点目が電力調達における対策、すなわち、化石燃料から再生可能エネルギーへシフトということでもあります。この中の二つのアプローチについて説明します。



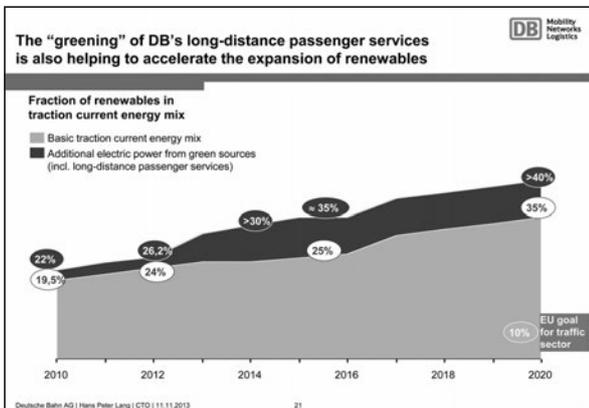
### 3.1 第一のアプローチ

まず第1番目のアプローチであるグリーンプロダクト。このグリーンプロダクトについて、遠距離旅客輸送を例に説明します。ドイツ鉄道が行った市場調査によりますと、環境にやさしい旅を重視する人が、遠距離列車を利用する乗客の71%もいらっしゃいました。41%の乗客が「ドイツ鉄道の環境に対する取組みがなければ乗りたくない」、あるいは「乗らない」と答えています。従って、お客さまが環境にやさしい旅を望んでいらっしゃることは明らかです。そのため遠距離輸送ではいわゆるグリーンプロダクトを提案しております。お客さまに100%エコ電力での旅を提案するというものです。風力と水力を主体とした再生可能エネルギーからの電力であります。2013年4月からすでに100万人の方がエコ電力で旅をなさっていらっしゃいます。仕組みは次のようになっています。必要な再生可能エネルギーの量を計算した上で、追加的に購入し鉄道の系統に供給することで、従来の電力構成を変えています。再生可能エネルギーによって、余分に掛かったコストはお客さまにご負担いただく。そしてこの再生可能エネルギーの由来と供給は、第三者機関によって認証され、証書が発行されます。同じような商品が地域輸送においてもあります。ハンブルグのSバーン、都市高速鉄道

は、100%エコ電力で運行していますし、貨物輸送でも同じような商品があります。



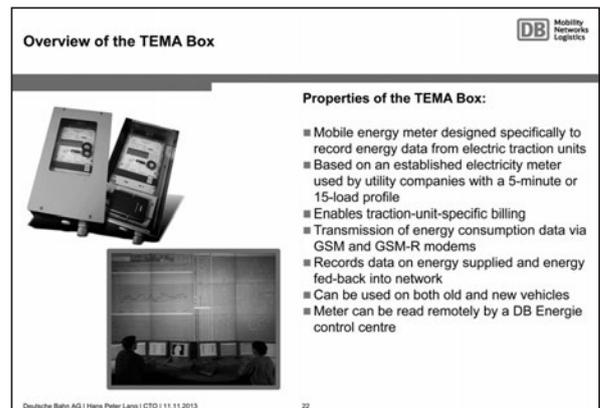
では、このグリーンプロダクトは、鉄道の電力構成にどのような影響を及ぼしているのでしょうか。このグラフは、鉄道の電力構成における再生可能エネルギー比率の上昇計画を示しています。すでにご紹介した戦略目標である、2020年までに35%という再生可能エネルギーの割合を、グリーンプロダクトを導入することによって40%以上にすることができるのです。ちなみにEUが全輸送形態に対して掲げている目標は10%であります。このように比較してきますと、ドイツ鉄道の鉄道輸送が果たす環境への貢献がはっきりと見えてきます。



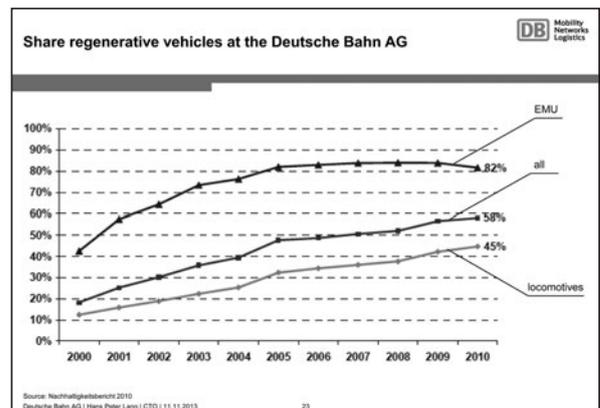
### 3.2 第二のアプローチ

では2番目のアプローチである省エネについてはどうでしょうか。エネルギー効率を改善するにあたって前提となるのは車両ごとのエネルギー消費量を把握することです。このためドイツ鉄道では7000以上の車両のエネルギー消費量を把握し、エネルギーコストのコスト要因を明確にしています。ここでご紹介しているエネルギーメーターですが、電気機関車、電動車のエネルギーデータを把握するために専用で作られたものです。新型車両と旧式車両の両方に取り付けています。負荷データはGSM経由で転送し、記録されるのは消費エネルギーと制動時に回生されたエネルギーの両方です。これにより省エネのための重要な前提が満たされていることとなります。事業者は電車

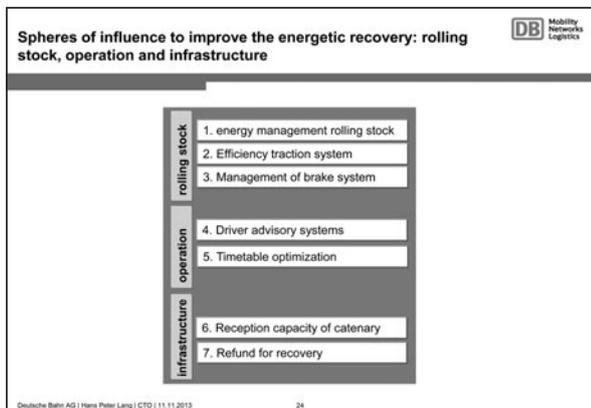
が消費したエネルギーの分だけを支払うことになりますし、また、制動時に回生されたエネルギーも私たちが買い取っています。逆潮流に対して制限はありません。いつでも私どもDBエネルギーの系統に逆潮流できます。エネルギーの購入および逆潮流のためにはDBエネルギーとの契約締結が前提条件となっています。ドイツ鉄道グループ内企業であっても、例えばグローバルな運輸企業であっても、常に同じ条件と価格が適用されています。つまり、省エネは経済的なメリットに直結しています。エネルギー収支に大きな効果をもたらすのが、回生ブレーキエネルギーの利用であります。ドイツ鉄道の電動車両の逆潮流率、つまりエネルギー消費量に占める回生ブレーキエネルギーの割合は現在約10%であります。その際、遠距離輸送および近距離輸送においては、電動ブレーキの電動車が多いため、油圧ブレーキが行われている貨物輸送より明らかに高い比率になっています。



このグラフはドイツ鉄道において再生可能な車両の割合を示したものであります。EMUというのは電動車で、赤が機関車、青がEMUです。車両の刷新により、この割合を目に見えるくらい増やすことができました。



ドイツの系統はより多くの逆潮流を受け入れることができるので、どのような可能性があるのかを調査しました。まず省エネにどのような影響があるのかを分析したところ、三つの要因がありました。それは①車両、②列車の運行、③インフラです。



## ①車両

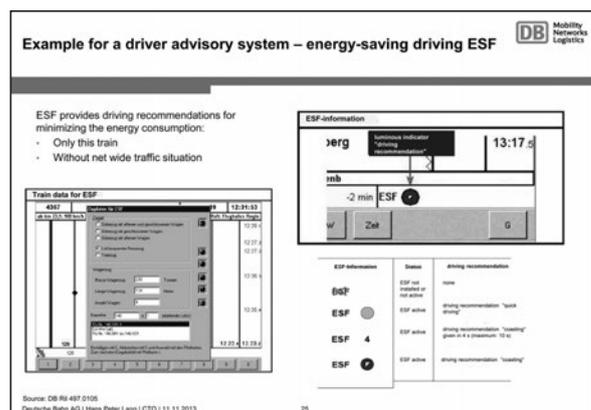
まず車両についてですが、高効率の牽引システムを有したものでなければなりません。これは全ての最新の車両に備わっているものです。ドイツ鉄道では、古い車両についても、エネルギー効率を上げるために技術的な改造を行っています。耐用年数の約半分が経過した時点で、車両のリデザインを実施しています。これは、高速列車の分野ではICE1とICE2においてすでに行われています。現在、車体傾斜制御技術を搭載したICEとICE3において準備が行われています。この改造工事では、客室がリニューアルされるだけでなく車両技術も経済的と思われる部分は全て最新技術に改造されます。ICE1の車両においては駆動系のエレクトロニクスがサイリスタ技術からIGBT技術に改造されました。これらの全ての対策によって達成できるエネルギー節減率は14%です。比較的新しいICE2の車両に関しては、GTO技術からIGBT技術に改造されます。これによって達成されるエネルギー節減率は約6%です。エネルギー回生率を上げるためには車両のブレーキ管理も適切な形に設定する必要があります。これは、列車においては運行中に車両が制動する際に主に電気ブレーキが作動するように設定することになります。これによってブレーキシステムの摩耗が減少し、電力の回生効率を高めることができるようになります。

## ②列車の運行

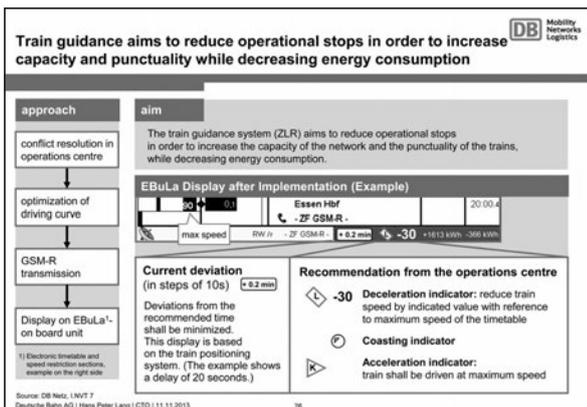
問題が発生しているのは、空圧ブレーキでしか作動しない貨物列車の場合です。貨物列車の動力車で、電気ブレーキを使用することは厳しい安全上の基準が存在しています。ドイツで運行されている列車は現在最長で835mのものです。列車の編成については全く規制がなく、積載されている車両、そうでない車両、二軸車、多軸車を自由に組み合わせることができるため、ブレーキを設定する際には、特に機関車の制動

力の時間的な変化や、その最大値において編成された列車の長手方向の力の動特性を考慮し、脱線を回避しなくてはなりません。比較的新しい機関車に最新の牽引システムやブレーキシステムが装備されている場合でも、貨物列車の運行時に使用できる電気ブレーキによる制動力は最大で現在、150キロニュートンに制限されています。従って、貨物列車での電力の回生を改善するには貨物列車のブレーキ技術の変更が必要になってきます。貨物列車はヨーロッパ全土で自由に運行できる現状にありますので、この解決は極めて困難な問題になっています。

さらに制動時のエネルギー回収率を上げるのに役立つものとして、ドライバーアドバイザリーシステムを挙げることができます。現在すでに列車の運転士によってこのドライバーアドバイザリーシステムは利用されています。このシステムはあくまで運転士にアドバイスをするもので、最終決定権と責任は運転士にあります。この省エネ運転システム(ESFシステム)は、路線網全体の運行状態は考慮せずに各列車の走行だけを捉えて判断します。運行時刻表データ、現時点での当該列車の定時制、また、落差、傾斜などの路線に関する情報、さらに重量などの列車自体に関するパラメータをもとに運転士にディスプレイ上で適切な運転方法を表示します。今ここでご覧いただいている例では、「トラクションをオフにせよ」というアドバイスが出ています。運転士はこのシステムの使い方について研修を受けています。しかし、このESFシステムは各列車の走行しか考慮しないものです。



次の開発ステップは現時点での運行状況を考慮することが重要になってきます。現在DBネットで開発のトレインガイダンスシステムは、適切な運転方法を割り出す演算に、列車の運行状況を取り入れることができるものになっています。業務指令センターで列車の走行を分析し、路線の分岐点など問題が発生しそうな場合においては効率の良い、かつ円滑な列車の走行に必要な情報を該当する列車に送ることができるものです。この情報は運転台のディスプレイに表示された電子式の運行時刻表に示されます。この例においては、可能な最高速度は時速90kmですが、それを時速で30km減速するように、というアドバイスになっています。ディスプレイにはそれ以外にも牽引エネルギーと回生エネルギーも表示されるようになっていきます。この開発によって、システム全体において定時運行率が改善されるとともに、エネルギー消費量の軽減が期待されています。また、このシステムはドイツ鉄道の車両だけでなく、競合他社の車両でも利用することができるものです。



### ③ インフラ

エネルギー回生率を改善するには、インフラもその条件を満たさなければなりません。幸い、ドイツの鉄道電力網は一部の線区と直流方式のベルリンとハンブルグのSバーンを除いてどこでも制限なく回生電力を逆潮流させることができるようになっています。従って、鉄道電力網の改造は必要ありません。しかし、約400社にも上る鉄道会社に、ブレーキエネルギーを回生させる動機づけとなる経済的なインセンティブを与えるためには、回生電力に対しそれ相当の金額を支払う必要があります。しかしそれは電力消費量と回生電力量が常時把握されていることで可能となります。回生電力に対し、牽引エネルギー価格の80%を払い戻しています。動機づけをさらに高めるために過去4年間にこの価格をほぼ倍にしています。これで何が達成できるかといいますと、電力回生率が現在10%ですが、これが20%になることが現実的であると考えています。これは大きな前進となります。

## 3.3 その他の省エネの取組み

### (1) 非電化区間の電化

さらにドイツ鉄道がエネルギー効率の改善とCO<sub>2</sub>排出量の削減のために取り組んでいる項目として挙げている点としては、非電化区間における電力による牽引、列車の走行になります。現在輸送量の約85%が電気で行われており、ドイツでは現在約2万の区間が電化されています。これは全体の60%に相当します。この区間をさらに電化することについては、線区の交通量や環境保全の観点だけで決まるものではありません。ドイツではすでに述べたように交通インフラ整備に掛かる費用の負担に関する条件が複雑なため国の支援が極めて重要になります。従って非電化区間で電車の運行を可能にするコンセプトを模索することは重要になっています。

### (2) 蓄電池駆動電車

今日、蓄電池駆動電車について目覚ましい技術革新であると言っていますが、これは決して新しい技術ではありません。鉄道の歴史を今一度振り返り、開発による技術革新のレベルを相対的に捉えたいと思います。今、これから2車種の鉄道車両をご覧にいたいと思います。

ドイツでは十数年前に蓄電池駆動電車地域間輸送が行われており、その当時運行していたものです。このピットフェルト蓄電池駆動車といわれるレールカーはプロイセン邦有鉄道が1907年から163台購入したものです。最高速度は時速60km、最長走行距離は160km、当時の技術では冬に車両の走行距離を制限しないために暖房には電気ではなく石炭を使用し、車掌がストーブを管理していました。



# Special feature article

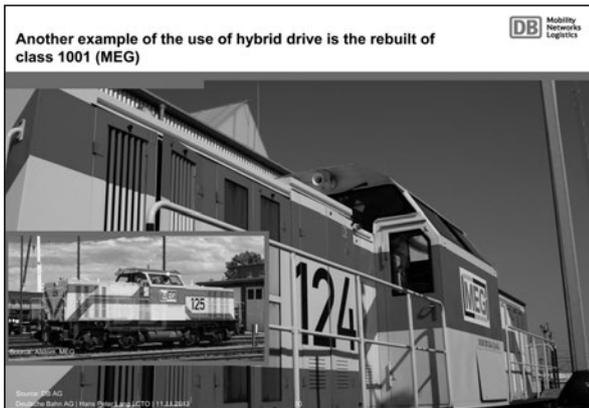
そしてこの車両は1962年まで運用していました。1953年から1965年までの間、ドイツ連邦鉄道では、型式ETA150の蓄電池駆動車232台が運行していました。最高速度は時速100kmで最長走行距離は300kmでした。この車両は主に平地で運行され、非常に良い実績を残し、1995年まで運行していました。今なお、最新の蓄電技術を用いて求められる運行上の特性を実現した多数の鉄道車両が開発されています。ドイツ鉄道は産業界のこのような技術開発を支援し、列車の運行、保守点検に関する経験を提供し、新しい蓄電技術の実用化に向けて、試験の実施に協力していく所存です。



ドイツ鉄道の活動の重点は現在、既存のディーゼル車をハイブリッド駆動に改造することにあります。ドイツ鉄道では現在1495台のディーゼル車両をほぼ全て近距離輸送で運行しています。これは比較的新しい車両で、大半がまだ使用期間の半分にも満たないものですが、近いうち実用化されるであろう蓄電池駆動電車に入れ替わるには、まだだいぶ時間がかかると思われます。しかし、これらのディーゼル車両も近いうち、リデザインされます。そこでは内装の変更以外にディーゼルエンジンが交換されます。というのは旧型エンジンのオーバーホールはもはや経済的ではなく将来的な排ガス規定を満たさないものになるからです。現在乗用車に適用されている厳しい排ガス規定が、今後鉄道車両にも適用されると予測されています。そうなりますと、法的な有害物質排出規定を満たさない車両は今後過密地域での運行が制限されることになります。そのため、ドイツ鉄道はディーゼル車両を現状の技術に合った形でハイブリッド仕様に改造するコンセプトに取り組んでいます。



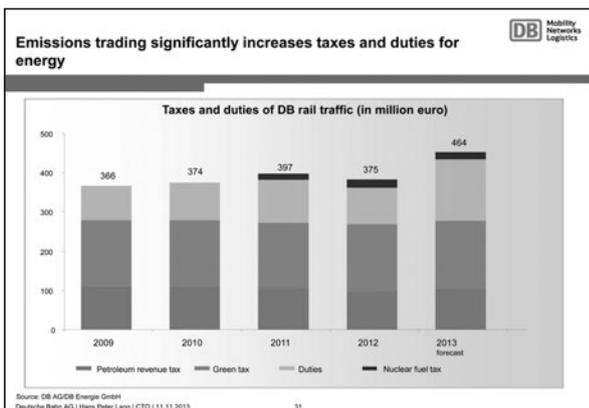
この最初のプロジェクトをここに示しています。この改造の目標はエネルギーの回生により、最大25%のエネルギーを節減することでありました。ここでは、既存のディーゼルパワーパックをハイブリッド駆動ユニットと、ルーフに配置されたバッテリーに交換します。このハイブリッド駆動ユニットは最新の排ガス規格に適合したディーゼルエンジンと、ディーゼルエンジンに固定された電動機、モーターで構成されています。この電動機は制動時には発電機として機能し、バッテリーの充電を行い、同時にブースターとして牽引力を出す機能を持っているものです。さらに駆動ユニットの交換に加えて、駆動系とブレーキの管理システムが抜本的に見直され、変更されました。旧型車両の改造で工夫を強いられる点は、新しい、あるいは変更されたコンポーネントが既存の構造空間に収まるようにならなければならないことです。そのため重量や質量配分は極めて限られた範囲でしか変更することができなくなります。さらに、牽引システムの変更に加えて、この車両では従来の空調機が電気式、CO<sub>2</sub>エアコンと交換されました。これは、弊社の環境保全目標にさらに一歩近づくものです。この車両は全ての認可試験を合格し、認可可能な状態にあります。しかしながら車体質量と質量配分の変更範囲が限られていたため、座席数が制限される結果となり、量産車としては認められないものになりました。そのため、これまで得た認識をもとに現在、量産化できる改造設計仕様を実現するプロジェクトが現在進行中です。今述べたディーゼル車両の他にも入換機関車の改造も節減効果が期待できます。入換機関車の電力消費量を測定したところ、主に部分負荷運転、中低速とアイドリングで運転されていることが確認されました。この写真はまた、既存のディーゼルエンジンを電気モーターとバッテリー式の新型エンジンに変える構造を表したものです。このように改造された4台の機関車は2012年6月から運行し、成果を上げています。エネルギー消費量の測定結果では、ディーゼルの消費量が平均で約43%節減されたことが確認されています。



### (3) その他の取組み

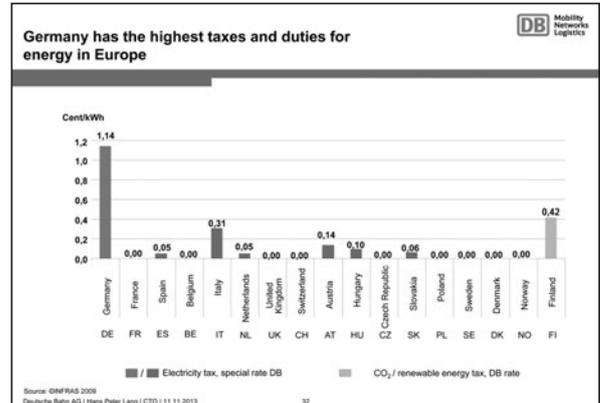
それ以外にも環境保全の目標に向けてドイツ鉄道が取り組んでいるプロジェクトや対策がまだまだたくさん存在します。例えばグリーンステーションプロジェクトでは、ソーラーパネル、太陽熱集熱器、地熱ポンプ、効率の良いLED照明、雨水浸透施設の設置などを行い、インフラにおいても明確に方向性を示しています。これらのプロジェクトは冒頭で申し上げたドイツ連邦政府が環境政策において定めた目標の達成に貢献するものです。

ドイツ鉄道や、他の鉄道会社のこれら全ての努力は国から評価されることになるのでしょうか。このグラフは2009年から2013年までの期間における、ドイツ鉄道がエネルギー関連だけで支払った租税公課を表すものです。2013年においては石油税、環境税、核燃料税、その他の租税公課を全て合計すると4億5000万ユーロほどに上ります。それに対し、航空輸送や河川輸送はこれらの租税公課がほとんど免除されています。



国際的な比較においても鉄道は、電力消費に関わる最も高額の租税公課が課せられている交通機関であるといえます。個人輸送における電気自動車の普及は交通政策上、国によって支援されています。それに対し、100年以上前から電力を消費する鉄道は集中的かつ付加的に、租税公課の負担を負わされています。このようにさまざまな交通主体に対し、市場競争の条件が偏った形で設定されていますが、ドイツ、欧州、

世界市場において鉄道輸送は環境面での利点や、貴重なエネルギー資源の節減に大きな貢献をしていることが、将来性のある交通機関であると強く確信しています。



## 4. まとめ

ドイツ鉄道が鉄道システムの環境面で、利点をさらに拡大するという自社の戦略を実現するために取り組んでいるさまざまな対策について話をしました。ドイツ鉄道グループの行動指針がどのような制約条件の中で生まれたものなのか。これらの条件は一方では連邦政府のエネルギー政策的な決定、他方では欧州制度における鉄道システムの自由化によって生まれたものです。鉄道における日本のエネルギー政策の現状やその枠組みとなる条件は、ドイツのそれとは著しく異なるものですが、鉄道システムをさらに発展させるために実施されている技術的な対策は、ドイツ鉄道の活動と大きく異なるものではないと認識しております。これは、情報交換や意見交換をすることがいかに重要であるかを示すものであると実感しております。

