

輸送分野における新材料の動向

辻村 太郎
材料技術研究部(主管研究員)



つじむら たらう

はじめに

我が国の輸送実績を見ると図1に示すように、旅客においては自動車、鉄道、航空機が、貨物においては自動車、内航海運そして鉄道が主要な担い手です。そしていずれも全体としては、経済の成長に伴って1960年から1990年までの30年で5～6倍増えています。それ以降は伸びが止まっています。今後、国内では少子・高齢化、人口減少が進み、輸送需要は減少傾向になると予想されていますが、世界的にはまだまだ人口増加、生活水準の向上に伴い、輸送需要の増加は続くと予想されています。

輸送機関への期待

人と物を運ぶ輸送機関は、現代社会の活動の基盤となるシステムであり、高速化や快適性などの輸送機能、安全性、経済性が求められてきました。それらに加えて近年は、地球環境問題の観点から省エネルギーや省資源の重要性が増してきています。

地球温暖化の原因となる二酸化炭素等の輸送分野からの排出は我が国全体の2割強を占めています。また、資源

消費の観点で見ると、2007年には普通鋼(57,260千トン)の約3割が自動車(12,082千トン)や船舶(5,330千トン)に投入され、アルミでは全需要の4割強にあたる1,755千トン(2006年)が輸送機器(陸運、航空、船舶)に投入され、生コンクリートの約15%が道路、港湾・空港、鉄道に投入されるなど主要な素材のかなりの量が輸送分野に投入されています。いずれの問題に対しても、輸送分野としての対応が求められています。

自動車分野の材料動向

自動車には、運転性能、安全性、デザインなど従来からの課題に加え、近年、地球環境問題への対応の重要性が大きくなっています。その中身は、燃費向上、CO₂排出量削減と汚染廃棄物を出さないことに大別されます。CO₂排出の削減は、エンジン負荷を下げることと他のエネルギーを使うことに分けられます。

乗用車の場合、100kgの軽量化は、5%の燃費改善につながると言われています。多くの乗用車は、8割以上が鉄鋼材料から構成されていますから、鉄鋼材料を高強度化し

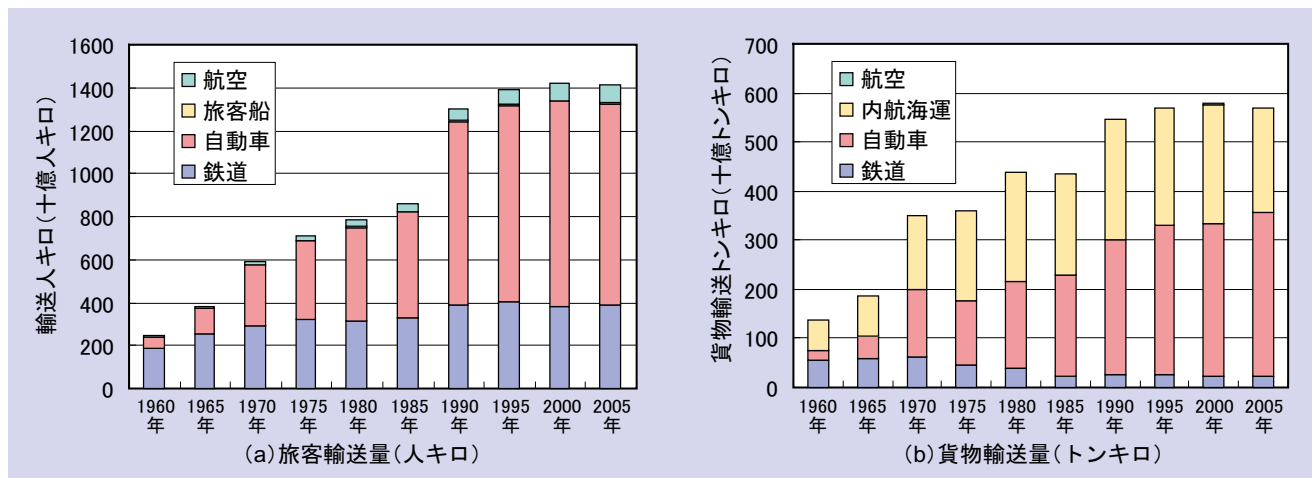


図1 輸送機関別国内輸送量の変遷

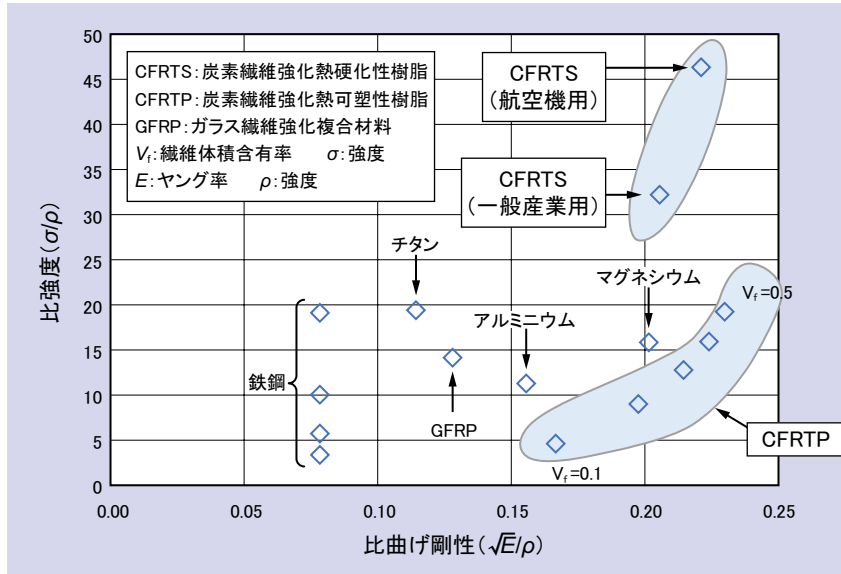


図2 各種構造用材料の比強度・比曲げ剛性比較

出典：高橋淳：未来材料，第7巻，第12号，p.40，図3（一部修正）

て使用量を減らすこと，または鉄よりも比重の軽いアルミニウム，マグネシウムなどの軽金属や繊維強化プラスチック（FRP）などの非金属材料へ置き換えていくことにより軽量化が達成されます。

各種構造用材料の比強度，比曲げ剛性を図2に示します。比強度が大きいほど強度部材を軽量化できますし，比曲げ剛性が大きいほど板材の軽量化ができます。鉄鋼のように金属材料は強度を高めても，剛性は一定ですが，炭素繊維強化プラスチック（CFRP）のように複合材料は強度・剛性を高めることが可能です。

高張力鋼やマグネシウムなどの金属系材料による軽量化は，これからも続きますが，更なる軽量化に向けて，FRPの適用が検討されています。図3はボディやシャーシ等にできるだけCFRPを適用した場合の試算で，540kg，約40%の軽量化が可能との結果を得ています。これは燃費にすると25%強の削減につながると期待される値です。

エンジンの効率向上，排ガス規制の強化は，エンジンの排ガス温度を上昇させる傾向にあるため，排気系部品のエンジン本体に近い部分には，加工性がよく，現在のステンレス鋼よりも高温強度，熱疲労特性に優れた材料が必要とされます。鉄系材料では高強度で高延性，または衝撃吸収エネルギー性に優れた高張力鋼が期待されています。

チタンは，耐食性，軽量（比重4.5），耐熱性に優れた素材ですが，現在は製造コストが高いため，エンジンバルブやマフラなどの特性が発揮される部分に限定的に使用されています。今後，製造プロセスが改善され低価格化が進む

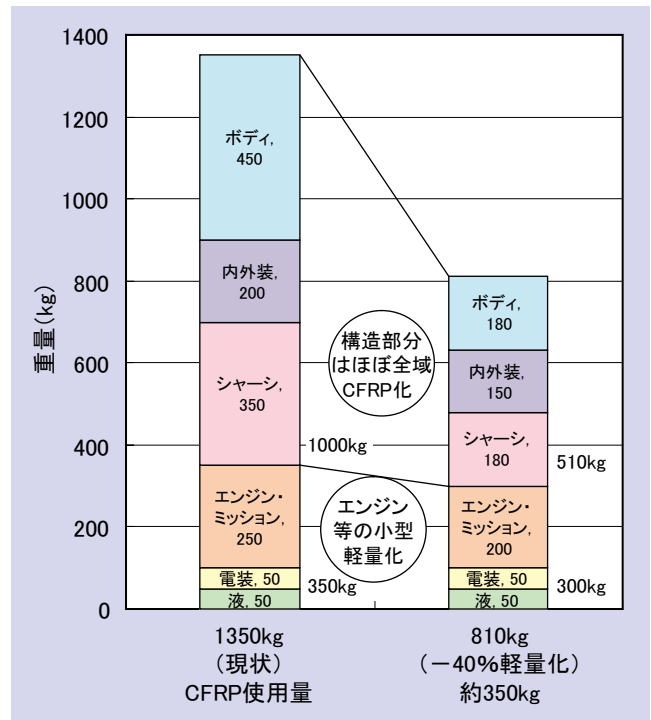


図3 乗用車のCFRPによる軽量化（試算例）

出典：高橋淳：未来材料，第7巻，第12号，p.41，図6より抜粋

と用途が拡大すると期待されています。

CO₂排出削減の根本的な対策は，エネルギー源の脱化石燃料化です。具体的には，電気自動車や燃料電池車で，車載可能な小型軽量でエネルギー密度の高い二次電池や燃料電池の開発が進められています。普及に向けては，発電をどのようにするか，水素をどのようにして製造するかなど

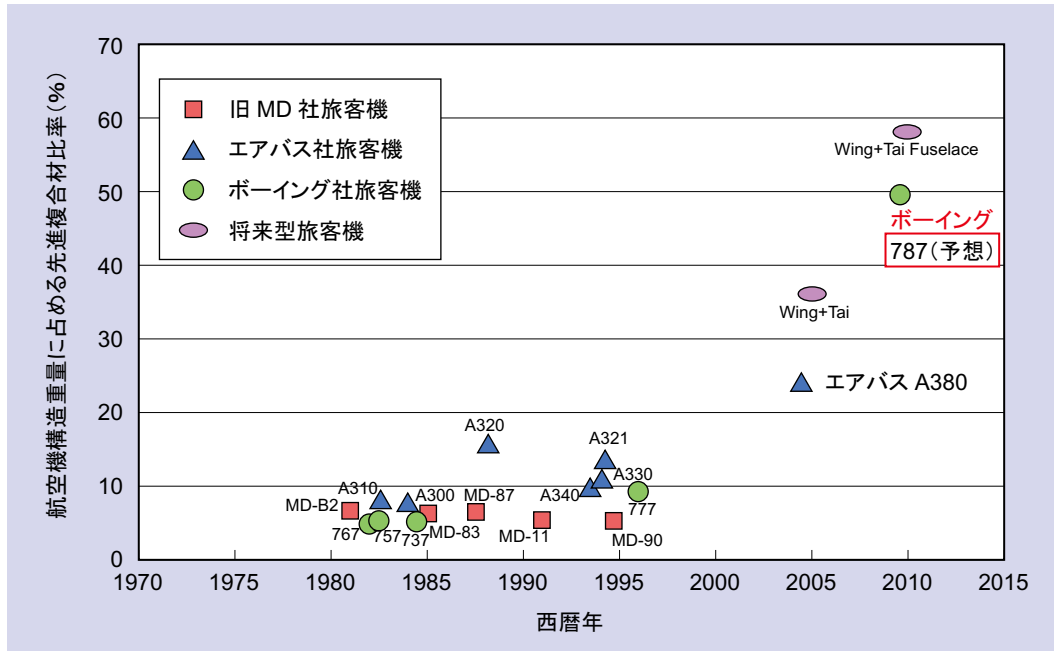


図4 航空(旅客)機構造重量に占める複合材比率の変遷

出典：邊吾一，石川隆司編著：先進複合材料工学，p.170，図12.1より抜粋

多くの課題があり，材料面では，電解質材料，電極材料や水素を貯蔵する材料の開発がキーとなっています。

ハイブリッド車や電気自動車では，駆動用モータの性能向上が重要な課題です。燃費低減には，電磁鋼板の低鉄損化や磁化特性の向上が求められます。

最近の動きとして特に注目されているのは，レアメタル^{※注}を中心とした資源リスクへの対応です。例えば，これまでの自動車の電動化は同期モータを採用して進んできていましたが，そこに使われている永久磁石にはネオジウム(Nd)やジスプロシウム(Dy)などのレアアース(希土類元素)が含まれています。また，一台の自動車の軸受鋼，ばね鋼や耐熱鋼にはレアメタル(Ni, Cr, Mo, Mn, Vなど)を合金元素として含んだ特殊鋼が重さにして35%程度使われ，排ガス浄化に必須の触媒には，白金(Pt)が使われています。これらのレアメタルは，資源の偏在や価格の大幅な変動により従来と同じように使い続けていけなくなる可能性があり，使用量の抑制や代替材料の開発が進められています。

航空機分野の材料動向

航空機にとっての課題は，何と言っても経費削減と地球

※注：レアメタル：資源的に希少な金属，資源的に豊富でも，製造が困難，または鉱石の品位が低い金属の総称

環境問題への対応の両方に有効な省エネルギー化です。機体としては軽量化であり，エンジンとしては効率の向上です。

機体の軽量化に関しては，炭素繊維協会が航空機のLCAを行いCO₂排出に占める運航時の比率が99%に達するとしています。機体構造の50%をCFRP化して20%の軽量化を達成すると一機当たり年間2700トンのCO₂削減となると試算しています。これまで航空機の機体材料はアルミ合金が中心でしたが，図4に示すように，1975年ごろからFRPが徐々に二次構造部材(方向舵，昇降舵など)に採用されるようになり，その後少しずつ一次構造部材(水平尾翼，垂直尾翼など)への採用が広がり，近年では航空機構造重量に占める複合材料の比率は20%程度にまでなってきました。今後登場するボーイング787やエアバス350では，一次構造部材である圧力隔壁，中央翼などへも採用され，その比率も50%程度へと一気に増加する計画です(図5参照)。更なる展開のためには，複合材構造の低コスト化が必要であり，後から液相樹脂を注入する技術などの発展が期待されています。

また，耐熱複合材の開発が進むと現在チタン合金が使われているエンジン近傍で比較的温度が低い箇所への採用が実現し，低コスト化や軽量化が期待されます。

金属材料での軽量化に関しては，マグネシウム合金の耐食性の改善や比強度が現在の3倍程度になる成分系の開発

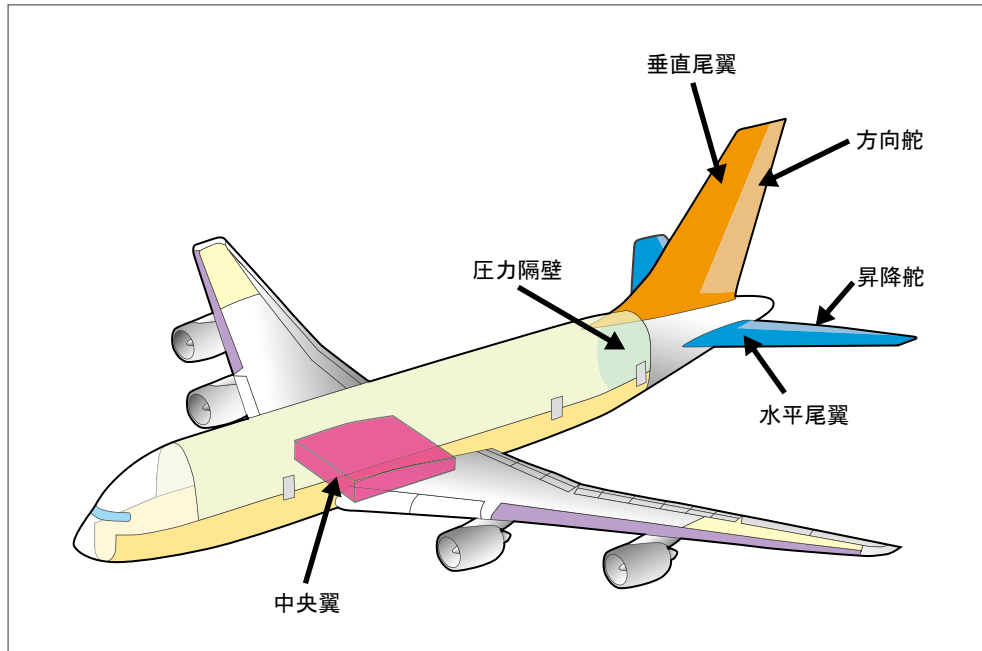


図5 航空(旅客)機へのFRP適用部位(例)

が進んでおり、アルミニウム合金に替わり多くの部分で使われるようになると期待されています。

航空機のエンジンではターボファンエンジンが主流となっています。その高効率化のためには、タービン翼やディスク用材料の耐熱性向上が不可欠です。使用温度が500℃以下の部分には、強度、靱性に優れたチタン合金が使われています。さらに高温に晒される領域にはニッケル基合金が使われています。この材料は、鋳造法で製造され、その製法の進化に伴い、1960年頃の耐熱温度は1000℃程度であったものが、2000年には1100℃を超えるところまで来ており、今も開発が続いています。この分野でニッケル基合金に替わる材料として期待されているのが、高融点、低比重のセラミックス材料です。しかし、セラミックスは脆いため、機械的性質の信頼性をいかに高めるかが課題となっています。その取り組みとしてセラミックス繊維でセラミックスマトリックスを強化した複合材料(セラミックス基複合材料；CMC)の開発が進められ、一部の軍用機に適用され始めています。

もう一つの今後の航空機材料の方向として、材料のインテリジェント化があります。これは、すでに述べた機体への複合材料の大量使用とも密接に関係することです。構造部材に使用されている複合材料の運用中の損傷発生・進展をリアルタイムで検知・診断して、構造システムとしての安全性、信頼性を高めることを目指しています。例えば、

複合材料の積層構造の中にセンサーと光ファイバーを埋め込み、複合材料のどの部分に衝撃的な外力が加わったかを検出するモニタリング技術の開発などが進んでいます。

おわりに：鉄道の材料開発の方向

自動車や航空機に対応する鉄道分野の移動体は鉄道車両です。鉄道車両用材料の課題は、

- 軽量化(地球温暖化対応)
- 新エネルギー対応(地球温暖化対応)
- 高機能化、インテリジェント化
- 低コスト化、省メンテナンス
- 資源リスクへの対応(レアメタル問題)

となり、自動車や航空機のところで述べた内容と共通部分が多くあります。軽量化のための軽合金化、複合材料化、メンテナンス軽減のためのインテリジェント材料の導入、新エネルギー導入のための材料開発、そして資源リスク対応のためのレアメタルの使用削減や代替材料開発などで基本的な研究開発の方向は同じです。鉄道への新材料の適用については、自動車や航空機などの動向を参考にしながら、鉄道固有の要求特性の検討に重点を置いて取り組みを進めたいと考えています。具体的には、例えば軽量材料をどのようにして車両構体や台車部材として適用していくかなどの鉄道の条件に合わせた検討が重要です。[RRR]