

鉄道におけるレアメタルの使用状況

鉄道材料レアメタル使用実態調査グループ*

The Current Situation of the Use of the Rare-metals in Railways

The study group on the current situation of the use of the rare-metals in the railway system

Rare-metals contribute to improving the characteristics of many materials and also to revealing new functions of them. In recent years, there have occurred many cases where the supply of these rare-metals has become unstable and those prices have fluctuated severely, and they have been anxious about growing of this tendency. So the national project of developing substitute material and saving of resource material have been promoted. Under these conditions, the current situation of the use of the rare-metals in a railway system, the assessment of influence by, and the countermeasure against the shortage of rare-metals has been investigated. It has been made clear that the railway materials involving less rare-metals and substitute material must be developed independently by the railway itself. It has been estimated that the rare-metals have a large influence on the performance of battery etc. which are expected to be used in a future railway system.

キーワード：レアメタル，資源リスク，鉄道材料，代替材料，省資源材料

1. はじめに

持続可能な社会の実現に向けた取り組みが世界共通の動きとなる中、近年各種の資源価格が急騰し、実際の経済活動への影響が懸念されるようになり、中長期的な資源対策をどのように行っていくかが、国家レベルでも課題となっている。本稿では、特にレアメタルに注目し、その資源としての重要性や供給の状況、国や産業界の対応について紹介し、さらに鉄道分野でのレアメタルの使用状況等についての基礎的な調査結果について報告する。

1 鉱種として) とする場合が多い¹⁾。これらには、我が国が得意とする高品質な機械加工や先端的な電気・電子部品製造、また、循環型社会形成に寄与する次世代機器(燃料電池など)に欠かせない元素が含まれている(図1参照)。

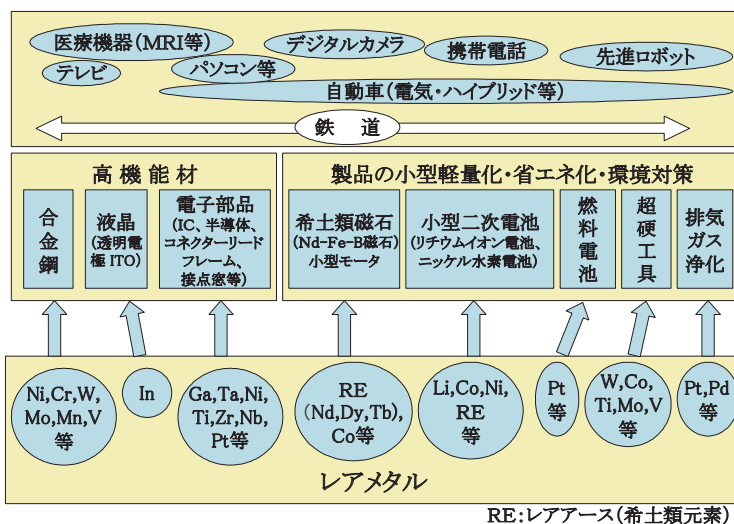
これらレアメタルの資源価格は近年大きく変動している。図2²⁾は主要な非鉄金属価格の推移を示したものである。2003年を基準にして金(Au)やアルミニウム(Al)は徐々に価格が上昇し、2007年には約2倍になっている。銅(Cu)、亜鉛(Zn)やニッケル(Ni)は、2006年から

2. レアメタルの役割と資源リスク

レアメタルは、「地球上の存在量が稀であるか、技術的・経済的な理由で抽出困難である鉱種(元素)」である。具体的には、工業用需要があり、今後も需要があるものと、今後の技術革新に伴い新たな工業用需要が予測されるものに限定して、

Li, Be, B, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Ga, Ge, Se, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Pd, In, Sb, Te, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Re, Pt, Tl, Bi, RE (Sc, Y, ランタノイド系)

の31鉱種(RE:レアアース=希土類元素を



RE:レアアース(希土類元素)

* 材料技術研究部

図1 レアメタルの重要性

2007年にかけて激しく変動し、一時的には5～6倍になり最終的には4倍程度になっている。その後起きた2008年の金融危機により、銅、亜鉛やニッケルはピーク時の四分の一程度まで下落しているが、これは一時的な現象と考えられる。近年の価格変動の要因は、中国をはじめとするBRIC's諸国の急激な経済発展に伴う資源需要の急増に直接的な原因を求めることはできるが、供給側の原因も指摘されている。一つは、資源の有限性であり、もう一つは資源が特定（少数）の国・地域に偏在していることである。

資源が有限であることは地球という有限な系を考えれば自明のことであり、これまでも資源の枯渇についての指摘³⁾がなされてきているが、近年、原田らによって、改めて資源の究極埋蔵量（地殻中に含まれる量）に対する年間使用量の評価が行われ、2050年には多くの金属において現有埋蔵量の数倍の資源が必要になることが予測された⁴⁾。また、供給元の偏りを見ると図3に示すように供給国の上位三カ国のシェアが90%を超える金属資源が幾つかあり、特にレアアース（RE）は中国だけで90%を上回っていることが示された¹⁾。このことは、安定供給の面でリスクがあることを意味している。

我が国の資源リスク対応策としては、石油備蓄制度のほかに1983年からのレアメタル国家備蓄制度がある。この制度は主に鉄鋼材料向けの、ニッケル（Ni）、クロム（Cr）、タンゲステン（W）、コバルト（Co）、モリブデン（Mo）、マンガン（Mn）、バナジウム（V）を対象としており、将来に向けた対応としては不十分である。この認識に基づき、「元素戦略プロジェクト」（文部科学省）と「希少金属代替材料開発プロジェクト」（経済産業省）が提唱され、連携して2007年度から動き始めている⁴⁾。前者では、希少元素や有害物質を豊富で無害な元素に置き換える技術や代替材料の開発を目指し、後者では新たな産業分野の拡大により今後の需要が増大すると見込まれるレアメタルの代替/使用量削減技術の開発を目標としている。

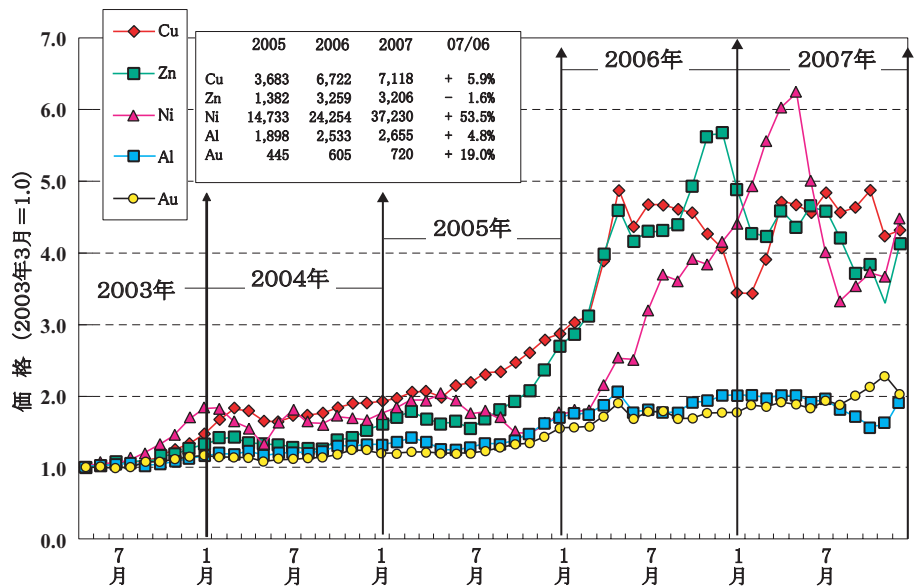


図2 主要金属価格の推移（2003年5月～2007年12月）

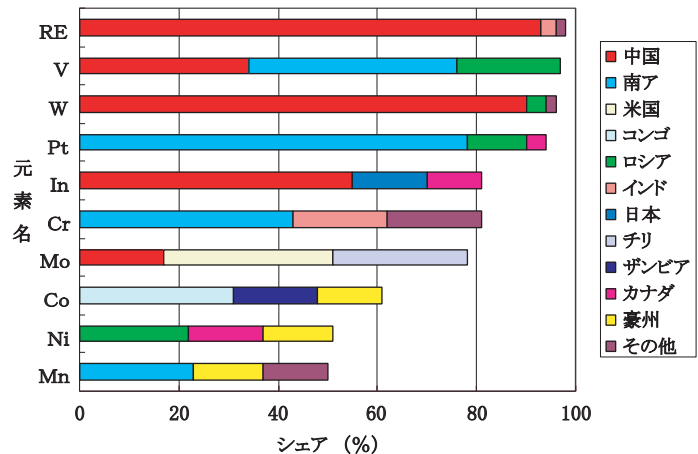


図3 主なレアメタルの偏在性（産出国上位3カ国のシェア）

この問題に対し、自動車業界では脱レアメタル化の検討に着手している。対象となる元素としては、Ni, Cr, Mn, Co, W, V, Pt, Li, REである。今後の自動車として期待されているハイブリッド車や電気自動車に使われる駆動用モータにおいては特性向上が不可欠であり、そのために使用される強力な永久磁石にはRE（レアアース；Nd, Dy）が必要とされている。軸受やばね、エンジン周りには合金鋼が使われており、Ni, Cr, Mo, Mn, Vが必要とされている。排ガスの浄化触媒としては白金（Pt）が、また二次電池として使用が拡大しているリチウム（Li）イオン電池にはCo, Mn, Niが使われている。これらの元素について、その使用量の削減や代替技術の開発が重要な課題として取り上げられ、取り組みが進みつつある⁵⁾。

3. 調査の概要

3.1 目的

鉄道分野ではどうであろうか。レアメタルはどこにどの位使用され、その影響はどの程度であろうか。そして、その対策はすでにあるのか。このような疑問に答えるために、鉄道分野でのレアメタルの使用実態を調査し、その影響の評価、更には対策の有無等についての検討を行うこととした。

本調査ではレアメタルの資源リスクが鉄道に及ぼす影響を知るために、

- (1) 実態把握：何処で、どの種類が、どの程度の量、使用されているのか。
- (2) 影響評価：供給制限、価格高騰の時に、影響が大きいものはどれか。
- (3) 対応策：代替材料、代替技術などはあるか。その効果とデメリットはなにか。

について以下の資料を対象として調査を行った。

- ・鉄道総研調査資料「鉄道用材料の使用実態調査報告書」（鉄道総研，平成4年9月）
- ・鉄道車両新指導書—車両用材料編—（社）日本鉄道車両機械技術協会，平成14年12月）
- ・東北新幹線電気工事誌（盛岡・八戸間）（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部関東支社）

3.2 調査の進め方

調査資料について、車両、施設ならびに電気の各分野の構成要素に使用されている材料のリストアップを行った。つぎに、リストアップされた材料および将来の鉄道で実用化が期待される機器・装置におけるレアメタルの有無を把握した。なお、本調査におけるレアメタルは前述の31元素である。

3.3 評価と対応策の検討

レアメタルを含有する材料を使用している部品、機器について、その性能を発揮するための

- ・レアメタルの重要性（性能への影響）
- ・レアメタルの使用量
- ・鉄道分野としての固有性（主に鉄道分野のみで使用される材料か）

を考慮し、鉄道主導で対応策を考えるべきかどうかを判断した。次に、それらに対する対応策に関して、代替材料、代替技術、代替システムの有無や開発状況について3段階で評価し、具体的内容についてコメントした。

- A：対策はあり、その実施に当たっての課題はない。
 B：対策はあるが、その実施に当たっては課題がある。
 C：対策はない（未検討または検討中）。

4. レアメタルの使用状況

レアメタルは、材料の性能向上や特定の機能を発揮させるため、以下に示すような鉄道のいろいろなところで使用されている。

車両関係では、耐食性、耐摩耗性や耐熱性などの向上を目的としてステンレス鋼（車体外板）、Ni-Cr-Mo鋼（ブレーキディスク、歯車、軸受、エンジンのクランク軸）やNi-Cr鋼（エンジンの接続棒）、耐熱鋼（吸排気弁）が、潤滑剤では、グリース（Li系）や二硫化モリブデンが使われている。この中で、歯車、軸受、エンジンのクランク軸、接続棒や吸排気弁は、一般の機械類や自動車分野などでも使用されており、レアメタルの削減や代替材料の開発は全体の動きの中で対応できることと考えられる。

地上施設（構造物、駅、線路、電車線）関係では、機器類を除くとコンクリートや炭素鋼を中心として汎用の材料がほとんどを占めている。防錆を重視する一部の構造物や架線金具類では、ステンレス鋼が採用され、レアメタル（Ni,Cr）が使用されている。材料としては低合金化の検討や代替材料への転換、また塗装による防錆効果の付与が対策として考えられる。耐摩耗性が要求される熱処理レールや分岐器には一部でCr-V鋼が使用されている。

劣化したコンクリート構造物に用いる補修工法の一部においてLiあるいはTiが用いられているが、コスト面等の問題から施工実績は少なく、代替の補修工法も数多くある。

電気（電力、信号通信）、車両や駅設備の各種の制御装置、通信装置に電気電子部品が使用され、その中の半導体やコンデンサー等には種々のレアメタルが含まれている。これらのほとんどは汎用品と考えられ、鉄道として独自の対策を検討する状況にはないと判断した。

5. 鉄道の主要な材料の対応策

レアメタルが使われている部材で、鉄道主体で対策を検討すべきものの一覧を表1に示す。以下では、主に材料の側から整理し、レアメタルの影響について検討する。

5.1 金属材料

(1) 合金鋼

車両構体のステンレス鋼はアルミ合金への代替が可能であり、地上構造物のステンレス鋼は、普通鋼+防食処理での対応が考えられる。耐熱性を要求される部位へは、今後の製造加工技術の進展により価格低下が期待されるチタン（Ti）の適用が期待される。熱処理レール等については代替材の開発が進められている。

(2) ブレーキの摩擦材

表1 鉄道の使用材料に含まれるレアメタルのうち鉄道側で対応すべきもの

部位分類		材料	レアメタル	評価※	記事		
車両	車体	構体	各梁, 外板, 床板	炭素鋼, アルミ合金, ステンレス鋼 (SUS301, SUS301L, SUS304)	Ni, Cr, Mn	B	レアメタル省資源化の観点からはアルミ構体車両への転換が望ましい。今後のコスト低減, 製造性・リサイクル性の向上により, アルミ構体の増加の可能性がある。
		台車	軸箱組み立て	潤滑剤	タービン油 (鉱油), グリース (Li石けん-鉱油系)	Li	B
	駆動装置		歯車型継手潤滑剤	グリース (Li石けん-鉱油系, 固体潤滑剤配合)	Li, Mo	B	
	心皿		潤滑剤		Li, Mo	A	ウレアグリースでの代替可能 (使用事業者あり)。
	塗油器		車上塗布型摩擦調整剤 (HPF)	固体潤滑剤 (二硫化モリブデンを有効成分とする)	Mo	A	鉄道総研の開発した摩擦緩和剤システム (FRIMOS) で代替可能 (導入事業者あり)。
	ブレーキ装置		ブレーキディスク	合金鋼 (SNCM), 合金鋳鉄, SCW480	Ni, Cr, Mo	A	ディスク構造の最適化を前提として鋳鋼 (海外で使用) で代替可能と考えられる。その他にC/C複合材, Al-MMC, C/C-SiC等の検討が行われている。
	ブレーキ装置		制輪子	焼結合金 (金属粉+黒鉛), 合成制輪子 (フェノール樹脂+金属粉), 鋳鉄	Mo, Cr, Ni, Mn	A	合金鋳鉄制輪子で各種レアメタルが使用されているが, 焼結合金制輪子等で代替可能。
	電気品	主回路	パンタグラフすり板	焼結合金 (金属粉+黒鉛), カーボン系複合材料	Ni, Cr, Mo, Ti, B, W	A	焼結合金には, レアメタルが含まれているが, カーボン系すり板の実用化も進んでおり, 適用に向けては確認試験等が必要ではあるが, 最終的には代替可能。
			主電動機 (ベアリングの潤滑剤)	グリース (Li複合石けん-鉱油系)	Li	B	台車-軸箱組み立て-潤滑剤に同じ。
			主抵抗器送風機, 補機用電動機 (ベアリングの潤滑剤)	グリース (Li石けん-鉱油系)	Li	A	汎用非リチウム系グリースで代替可能。
	車体内装	内装	窓	光触媒ガラスコーティング	Nb	B	酸化ニオブを用いた場合, コーティング膜が薄くなるため洗車を頻繁に行う車両に適したものである。
			窓	熱線吸収ガラス	Co, Se, Ni	A	通常のガラスの原料に微量のレアメタルなどを添加して着色したもので, 太陽光の赤外線や可視光を吸収する。レアメタルの使用は選択的である。
内装品		アクリル樹脂製品	アクリル酸, メタクリル酸	Mo, V	A	レアメタルは製品に直接含まれるわけではなく, 酸化触媒として製造工程で用いる。触媒成分は選択的である。	
		ゴム製品 (SBR, ABS製品)	スチレン	Ce, Mo, V, Cr	A		
		ウレタン製品	ポリオール	Cs	A	ポリウレタンの原料となるポリオール製造時の水酸化セシウム形で触媒として用いる。しかし, 有機系触媒の登場により使用料は減少している。	
電気	通信	ケーブル	光ファイバケーブル	Ge, Se	A	ガラス系からプラスチック系への代替が進む。	
施設	軌道	レール	熱処理レール	炭素鋼, 合金鋼 (Cr, V)	Cr, V	B	Crなどは焼入れ性向上のために添加するが, 熱処理方法や他の添加元素を検討することにより熱処理レールと同等品は製造できる。
		分岐器	普通レール, 熱処理レールと同じ		Cr, V	B	
全般	塗料		無機顔料	Ti, Cr, Co, Mn, Mo, Ni, Sb	A	有機顔料での代替が考えられ, 色も豊富である。なお, 使用するレアメタルは必要とする色によって異なる。	
			鉛・クロムフリーさび止めペイント (防錆顔料)	Mo	A	主にZnが使われる。また, Zn以外の成分の使用, その他の防食方法での代替方法も検討できる。	
			紫外線吸収剤	Ti	A	有機系のもも様々なところで使われている。ただし, 有機系のももだけではそれ自体が劣化してしまうという欠点があり, 有機・無機のハイブリット型製品の技術開発も進んでいる。	

※ A: 対策はあり, その実施に当たっての課題はない。
 B: 対策はあるが, その実施に当たっては課題がある (コスト上昇, システム変更など)。
 C: 対策はない (未検討または検討中)。

Ni, Cr, Moを添加した合金鋼ディスクや合金鋳鉄制輪子が使用されている。前者については, セラミックス複合材ディスク等の開発が進みつつあり, コスト面での

課題は残るが代替の可能性がある。後者については, レアメタル使用量の低減に向けた検討が可能であり, また焼結合金制輪子での代替もコストは上昇するが選択肢の

一つである。

(3) パンタグラフすり板

焼結合金には、レアメタルが含まれているが、カーボン系すり板の実用化も進んでおり、適用に向けては確認試験等が必要ではあるが、最終的には代替可能であると考えられる。

5.2 潤滑材料

(1) グリース

車両の走り装置で使用されているリチウム (Li) 系グリースにLiが含まれている。グリースは、液状潤滑剤(基油)と増ちょう剤からなる半固体状の潤滑剤であり、リチウム石けんグリースは脂肪酸に水酸化リチウムを反応させて生成したリチウム石けんを増ちょう剤として使用したグリースである。Li(水酸化リチウム)の入手が困難になった場合にはLi系グリースの製造が困難になる。対策としては、増ちょう剤としてウレア化合物を用いたウレアグリースでの代替が最も現実的である。しかし、以下の問題点がある。

- ① ウレアグリースの方がコストが高い、
- ② ウレアグリースは鉄道での使用実績が少ないため、車軸軸受や主電動機軸受等重要部品で使用するには台上試験および現車試験による性能確認が必要である、
- ③ 長期間の使用に対する耐久性が確認されるまでは、グリースを現行よりも短い周期で交換する必要がある。

(2) 固体潤滑剤

レールと車輪の間の摩擦係数を適切な値に調整し、横圧を低減することを目的として、モリブデン (Mo) を含有する固体潤滑剤(摩擦調整剤)が一部事業者で使用されている。Moが入手困難となった場合の対策として、車上から塗布するタイプの摩擦調整剤については、鉄道総研が開発した摩擦緩和剤 (FRIMOS) で代替可能である。一方、地上から塗布するタイプの摩擦調整剤については、地上塗布型の摩擦緩和剤が現在開発途中であり、現時点での代替は難しい。

5.3 高分子材料等

(1) 樹脂およびゴム材料

表1に示すように、車体の内装品には、アクリル樹脂、ウレタン樹脂、アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン樹脂 (ABS樹脂) およびスチレン-ブタジエンゴム (SBR) 等が使用されている。また、これらの樹脂およびゴム材料は、車体の内装品以外にも、鉄道における幅広い分野で使用されている。これらの材料を使用した製品自体にはレアメタルは含まれていないが、現在の製造方法上、生成収率の向上や効率化のため、少量のレアメタル酸化

物 (Mo, V等を含む) を触媒として使用する場合がある。但し、これらについては、使用量が少なく、触媒の種類も豊富であることから、変更や代替が可能と考えられる。

(2) 窓ガラスのコーティング剤

光触媒ガラスとしてニオブ (Nb) を使用したものが採用されているが、鉄道の使用条件においては同等の性能を持つ代替材はなく、今後の検討が必要である。熱線吸収ガラスには、Co, セレン (Se), Niが微量添加されているが、これらの元素については選択が可能であり、大きな問題とはならないと考えられる。

(3) 塗料

塗料関係では、無機顔料や防錆顔料にレアメタルが使用されている。前者では、有機顔料での代替や色の変更などで、後者では代替品、代替の防錆技術の適用も可能であり、対応は可能な状態にある。

(4) 光ファイバー

光ファイバーでは、ガリウム (Ga) や Seを含むガラス系の材料からプラスチック系への代替が進みつつあり、問題にならないと考えられる。

5.4 将来の適用が期待される材料

(1) 高温超電導材料

現在研究が進められている高温超電導材料のほとんどにレアメタルが使用されているが、優れた特性を持つ材料の開発や応用機器の研究開発が当面の目標である。従って、現時点では、レアメタルの削減や使用しない材料系の検討を進める段階にはないと考えられる。

(2) エネルギー変換材料

省エネルギー効果の観点からハイブリッド車両や燃料電池車両などが将来的に期待されている。それらへの搭載が検討されている二次電池やキャパシタには、レアメタルが使用されている。二次電池として現在最も有力であるリチウムイオン電池の正極にはリチウム金属化合物が、電解液には有機溶媒+リチウム塩が用いられるなど、Liがキーマテリアルである。燃料電池では、固体高分子型が有力であるが、白金触媒が必要とされており、将来の普及に向けては対策が求められる。

6. おわりに

将来の持続可能な社会に適合する鉄道システム構築に向けては、安全性の確保、安定輸送、経済性を前提として、さらに省エネ化、省資源化が求められ、そのためには、軽量化、効率向上、新エネルギーの導入、長寿命化が必要である (図4参照)。

これらへの材料側からの有力な対応策として、これまでレアメタルの合金添加や触媒としての使用が行われてきた。今回実施したレアメタルの使用実態調査と資源リ

スクへの対応検討の結果から、今後の材料開発においては、

- ① 鉄道分野での主要な材料については、資源価格の推移を見ながら、レアメタル使用量の削減、更には代替材料、技術の開発を進める（例：構体材料、グリースなど）
 - ② 将来の鉄道にとって重要な材料については、性能の向上に重点を置きながら開発を進める、または開発状況を見守り、資源状況を勘案して鉄道への導入時期を検討する（例：超電導材料、電池材料など）
- の2グループに分けての取組みが必要と考えられる。

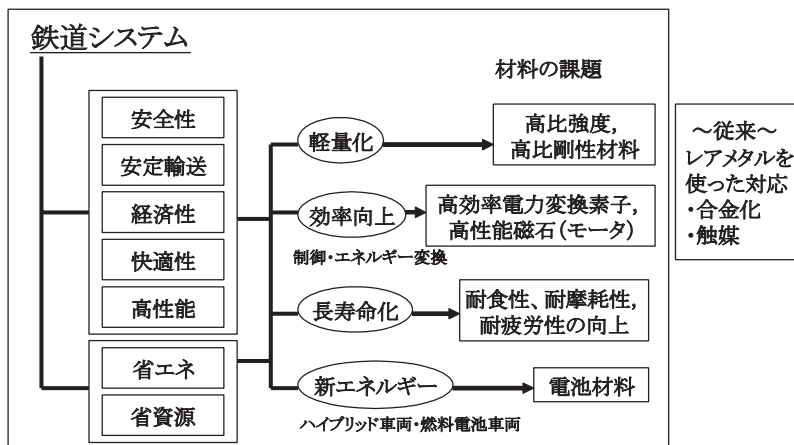


図4 材料の課題

文 献

- 本調査のメンバーを以下に示す。
- 鉄道材料レアメタル使用実態調査グループ
- 主査 辻村 太郎 (材料技術研究部)
 - 幹事 柿嶋 秀史 (摩擦材料)
 - 幹事 半田 和行 (摩擦材料)
 - 森 久史 (材料技術研究部)
 - 相原 直樹 (材料技術研究部)
 - 玉井 譲 (コンクリート材料)
 - 佐藤 隆恒 (コンクリート材料)
 - 間々田祥吾 (防振材料)
 - 佐藤 大悟 (防振材料)
 - 鈴木 淳一 (潤滑材料)
 - 高橋 研 (潤滑材料)
 - 久保田喜雄 (摩擦材料)
 - 兼松 義一 (摩擦材料)
 - 深貝 晋也 (摩擦材料)
 - 鈴木 賢次 (超電導応用)
 - 福本 祐介 (超電導応用)

- 1) 報告書 今後のレアメタルの安定供給対策について：総合資源エネルギー調査会鉱業分科会レアメタル対策部会（平成19年7月31日）
- 2) 澤田賢治：金属資源レポート38巻2号，2008年7月，（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構，p.2，図1
- 3) 例えば D.H. メドウズら：成長の限界，（1972年，ダイヤモンド社）
- 4) 原田幸明：プロジェクト報告「希少資源・元素戦略への取り組み」希少資源・元素の現状，まてりあ，第46巻，第8号（2007.8）pp.543- 548
- 5) Cover Story 特集 脱レアメタル，脱レアアース；Automotive Technology 2008.9,pp.90-105