

地球温暖化対策技術の普及と関連金属の需給に関する研究

環境システム学専攻 循環型社会創成学分野

2010年3月修了 47-086662 佐橋慶一

指導教員：森口祐一教授、 亀山康子准教授、 橋本征二准教授

キーワード：希少金属、資源需給、地球温暖化対策技術、寿命分布、線形計画法

1. はじめに

地球温暖化問題への取り組みが求められる中、電気自動車や太陽光発電といった技術の大幅な普及が計画されている。こうした技術には様々な資源が利用されており、これらの技術の普及に伴って関連する金属等の資源の需要が増大すると考えられる。中でも希少金属の供給には、その資源量・埋蔵量・生産量などに制約があることや、そうした希少金属が偏在していることによる供給不安定性などが懸念されている^{[1][2]}。したがって、資源供給の側面を考慮した地球温暖化対策技術の普及戦略が求められる。そのためには、拡大する金属需要量の把握、重要な金属の同定、需給バランスや金属需要量増大への対応の検討などが必要であり、本研究は以下を目的とした。

- (1) 地球温暖化対策技術普及に関連する希少金属の重要度を評価すること
- (2) 地球温暖化対策技術普及に関連する希少金属の需給バランスを評価すること
- (3) 地球温暖化対策技術普及に関連する希少金属供給リスク顕在化への対策効果を算出すること

2. 地球温暖化対策技術普及に伴う金属需要量、CO₂削減効果の算出

地球温暖化対策として、温室効果ガス排出量削減目標や、それを達成するための対策技術普及目標が設定されているが、それら目標設定には、技術普及に必要な金属供給という視点は考慮されていない。そこで、地球温暖化対策に関する目標や普及シナリオにおける対策技術普及を金属需要の増加ととらえ、各技術に関する既存のシナリオをもとに、金属需要量および見込まれる CO₂ 削減効果を算出した。ここで求めた金属需要量、CO₂ 削減効果は、3. 希少金属の重要度評価および 4. 希少金属の需給バランス評価で用いる。

2.1 金属需要量の算出方法

地球温暖化対策技術の導入に伴う t 年における年間金属需要量 m_t は、式(1)で算出される。

$$m_t = e_t \cdot d_t \quad (1)$$

ここで、 e_t は、 t 年に社会に導入された地球温暖化対策技術の規模、 d_t は、 t 年に導入されたその技術の単位量当たりの金属使用量である。

m_t は、世界および日本を対象に求める。 e_t は、各機関、国が想定している普及規模、導入目標を参考に、各年の対策技術導入量を独自に設定した普及シナリオである。また、 d_t は、文献等から得た値を適用する。

2.2 CO₂ 削減効果の算出方法

金属需要量を算出するために設定した地球温暖化対策技術普及シナリオについて、CO₂ 削減効果を算出する。算出方法は、技術の単位導入量当たりの CO₂ 削減効果を設定し、そこに技術導入量を乗ずる方法、または、ベースラインシナリオの CO₂ 排出量との差を CO₂ 削減効果とする方法を採用する。

2.3 使用金属量、CO₂ 排出特性等の変化を考慮した分析

自動車技術に関わる金属需要量、金属廃棄量、CO₂ 排出削減効果の算出においては、自動車の寿命分布を考慮して動学的な分析を行った。具体的には、技術の単位導入量当たり金属使用量、燃費、電源 CO₂ 排出原単位の経年変化を考慮した。

3. 希少金属の重要度評価

3.1 方法

既往研究^{図1}などのレビューにより、希少金属の重要度を評価するにあたっての評価項目を表1のように整理した。次に、その評価項目を①供給リスク②供給リスク顕在化の影響の2つの評価項目群に分類した。表中の太字下線の項目は、本研究で追加した指標である。

本研究では、表1の①供給リスクと②供給リスクの顕在化による影響をそれぞれ、横軸と縦軸にとり、希少金属の重要度を評価する方法を提案する。

評価指標の選択について、①供給リスクには、資源存在量、偏在性、需要量急増などの様々な要因が考えられるが、本研究では、地球温暖化対策の急速な進展に伴うリスクとして、資源需要量の急増に着目した。また、②供給リスク顕在化の影響については、地球温暖化対策技術の普及への影響として評価した。本研究で対象とする地球温暖化対策技術は、既往研究、各メディアにおいて希少金属供給の懸念が指摘されている次世代自動車用の電池(Li)および磁石(Dy、Nd)、定置用燃料電池(Pt)、太陽電池(In、Ga)とした。

表1 希少金属の重要度評価に関する評価項目の整理

評価項目群	評価項目	評価指標
①供給リスク	資源存在量	可採年数、見かけ上可採年数
	供給先特性	偏在性(資源量・埋蔵量・生産量・輸入量) 政治的安定度
	需要量	需要伸び率、市場規模、 <u>予測需要量と現状生産量比</u> <u>予測累積需要量と現状埋蔵量比</u>
	環境負荷	品位低下、関与物質総量、採掘エネルギー消費
	需給量変化への対策	リサイクル、代替可能性、備蓄の有無、資源確保
②供給リスク 顕在化の影響	産業への影響	価格波及効果
	<u>技術普及への影響</u>	<u>技術普及効果</u>

3.2 結果・考察

資源の供給リスクとして、横軸に地球温暖化対策技術の導入に伴う2011-2030年の累積金属必要量を当該金属の現在の鉱石生産量(2008年、全用途)で除した値をとり、地球温暖化対策技術普及への影響として、縦軸に地球温暖化対策技術の導入によるCO₂削減効果(2030年)をとったものが図1である。すなわち、供給リスクについては、当該金属の現在の消費量に対して、どのような需要増大につながるかを見ている。図は世界を対象としたものである。

図1から、次世代自動車の普及によって期待されるCO₂削減効果が大きく、LiやDy、Ndといった金属の需要の増加が大きいことが分かる。つまり、こうした金属の供給が、地球温暖化対策技術の導入効果に影響を与える可能性が高い。なお、太陽電池の普及によるCO₂削減効果は、InやGaを使用する種類の太陽電池のシェアを10%と仮定しているため、太陽電池全体によって期待される削減効果の1/10の大きさを表現されているが、このシェアが高まれば、その影響度も高まることになる。

4. 希少金属の需給バランス評価

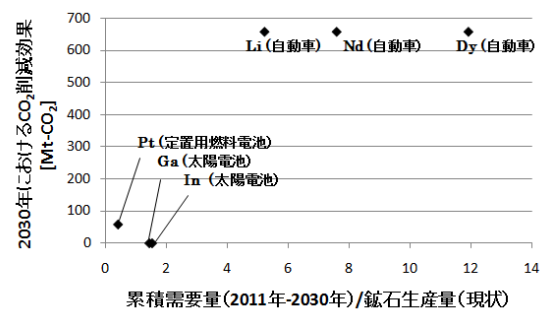


図1 希少金属の重要度評価(世界)

4.1 方法

需要量を埋蔵量と比較している研究はあるが、埋蔵量の大小は長期的な課題であり、中期的には生産規模の可変性、すなわち、中期的な需要の増加に対して生産量が追いつくかどうかの問題になる可能性が高い。ここでは、Li を対象に、2. において算出した Li の中期的な需要増加の推計をもとに Li の需給バランスの不均衡について評価する。

Li の供給量については、USGS の統計から得た世界全体の Li 生産量をもとに、今後もその生産量の経年変化の傾向が続くとし、将来の供給量を仮に設定する。このようにして設定した供給量と 2. において算出した次世代自動車用二次電池向け Li 需要量、また、それ以外の用途における Li 需要量から、リチウムの需給バランスを評価する。次世代自動車向け Li 以外の用途のリチウム需要は、年率 3%、5% で増加する 2 つのケースを想定した。

4.2 需給バランス評価結果

自動車の世界販売台数の増加、電池容量の大きい車種の割合の増加、Li イオン二次電池搭載車の割合の増加により、次世代自動車用二次電池に関わる Li の需要量は急増する。このため、本研究で設定した供給シナリオでは、次世代自動車普及シナリオの需要を満たすことはできないとの結果となった。これは、過去の生産量推移に比べて、急激な生産量の増加が必要になることを意味する。

他用途需要が 3% 増加するとき、天然資源量は、2030 年における全需要量の 79% を満たすにとどまる。同じく他用途需要が 5% 増加するとき、62% を満たすにとどまる。

5. 供給リスク顕在化への対策効果算出

5.1 リサイクル

地球温暖化対策技術の普及に伴って社会に投入された資源を、循環利用することにより、資源供給量を確保できると考え、その効果を算出する。次世代自動車用二次電池向け Li の循環利用を対象にする。

5.1.1 方法

現在、使用済み Li イオン二次電池からの Li 回収はほとんど行われていないが、近く事業化され、リサイクルの進展が期待されている。廃棄された Li をリサイクルすることで、天然 Li 供給量に加え、その分 Li 供給量が増加すると考えることができる。ここでは、2015 年から毎年 10% ずつ再生量/廃棄量の割合が増加し、2024 年に 100% に達するとし、リサイクル効果を算出した。このリサイクルにより二次資源となった Li は、再度次世代自動車向けに供給されるものとする。

5.1.2 結果と考察

図 2 にリサイクル効果の算出結果を示す。他用途需要が 3% 増加するとき 2030 年における次世代自動車需要量の 99%、5% 増加するとき 80% を満たすという結果を得た。

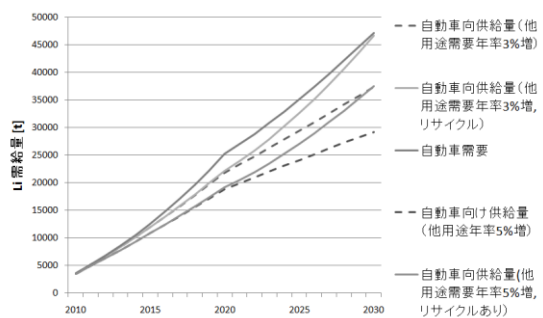


図 2 リサイクルの効果の計算結果

5.2 資源供給制約下において CO₂ 削減効果を最大化する資源利用

リチウムの供給制限のもと、どの車種、どの地域でリチウムを使用するとき、CO₂ 排出量を最小にすることができるか、線形計画を用いたモデルを構築し、検討した。

5.2.1 方法

構築したモデルは世界の LDV における乗用車全体からの LCCO₂ を目的関数として、これが最小となるように将来の各車種の導入台数の推移を決定する線形計画モデルである。

環境負荷の算出においてはライフサイクルを考慮し、保有台数、廃棄台数などは乗用車の寿命分布を考慮して算出する。目的関数・需要式に加え、必要に応じて制約条件を与えることで、各技術の最適導入量を算出する。

対象範囲は世界とし、これを 8 地域に分類した。導入される車種は、ガソリン車 (GV) に加えて、Li イオン二次電池を搭載する可能性の高いと考えられる電気-ガソリンハイブリッド車 (HEV)、電気自動車 (EV)、プラグインハイブリッド車 (PHEV) を想定した。

制約条件として、リチウム供給可能量、自動車保有台数、次世代自動車普及速度に制約を設けた。また、世界 8 地域の電源 CO₂ 排出原単位の違いを考慮した。

5.2.2 結果と考察

Li 供給量制約が、次世代自動車の普及の制約となるとき、自動車一台における Li 使用量当たりの CO₂ 削減効果の大きい、HEV、PHEV の順で導入が進む。そして、EV は、Li 供給量制約のため、全地域には導入されず、電源 CO₂ 排出原単位の低い地域から導入される。また、PHEV の電池容量によっては、電源 CO₂ 排出原単位の低い地域で、高い地域における PHEV 導入より先に EV が導入される。また、効果を定量的に示した。

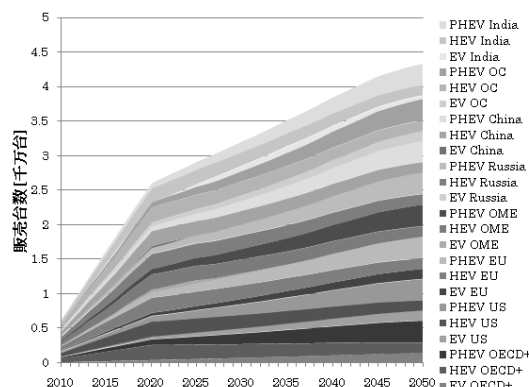


図 3 資源供給制約下における最適な自動車技術導入の計算結果

6. まとめ

本研究の成果をまとめると以下のとおりである。

- (1)複数の地球温暖化対策技術普及シナリオについて、金属需要量を算出した。
- (2)地球温暖化対策技術の普及にとって重要となる希少金属を同定するための枠組みを提示し、この枠組みにより次世代自動車に使用される Li や Nd、Dy が重要であることを示した。
- (3)地球温暖化対策技術の大規模な普及シナリオにおける Li 需要量を算出し、Li の需給バランスの不均衡が生じる可能性を定量的に示した。
- (4)現状ではリサイクルされていない Li を回収することで、2030 年において 20%程度供給量が増加する可能性があることを示した。
- (5)リチウム供給量制限のもとでは、まずは HEV を積極的に導入し、次に電源 CO₂ 排出原単位が小さい地域から PHEV 導入していくことが効果的であることを示した。また、電源 CO₂ 排出原単位、自動車 1 台当たりの Li 使用量によっては、電源 CO₂ 排出原単位の高い地域に PHEV を導入するより、電源 CO₂ 排出原単位の低い地域に EV を導入するほうが効果的である場合があることを示した。そして、資源供給制約下における最適な自動車技術導入による効果を定量的に算出した。

参考文献

- [1] Björn A. Anderson, Ingrid Råde: Metal resource constraints for electric-vehicle batteries, Transportation Research Part D6 297-324 (2001)
- [2] R. J. Spiegel: Platinum and fuel cells, Transportation Research Part D 9 (2004) 357-371
- [3] 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 平成 17 年度調査報告書「各種レアメタルに関するリスク評価及び重要元素に関する需給の現状と課題」(2006)