



リスク評価のための日本国内における ニッケル物質フロー分析

恒見 清孝*・和田 英樹*²

Substance Flow Analysis of Nickel for Risk Assessment of Nickel and Nickel Compounds in Japan

Kiyotaka TSUNEMI and Hideki WADA

Synopsis : Nickel compounds have been suspected of causing cancer in humans through inhalation exposure, therefore nickel compounds were specified as priority chemicals of hazardous air pollutants together with volatile organic compounds in 1997 in Japan. Thus, in this study, substance flow of nickel was analyzed from production, shipment and disposal, and the amount of domestic supply, gross additions to stock and waste generation were estimated from 1970 to 2015 in order to conduct risk assessment of nickel and nickel compounds. Additionally, sensitivity analysis was conducted in order to identify the effect to the substance flow of nickel associated with variation of uncertain parameters.

As a result, the amount of domestic waste generation was estimated 200 thousand tons per year in 2015 as much as the amount of domestic supply. However, the amount of recovery would be increased as the improvement of rate of recovery, and the amount of incineration and landfill in 2015 would be half as much as those in 2002. Therefore, the emission of nickel into the air will decrease 4 tons per year in 2015. Furthermore, the amount of incineration was largely varied by the factors of the way of municipal waste treatment and future trend of domestic supply of other products. Thus, it was interpreted that the amount of incineration of other products should be estimated in consideration of interval analysis.

Key words : nickel and nickel compounds; substance flow analysis; sensitivity analysis; risk assessment.

1. はじめに

ニッケル化合物が吸入による発がん性を疑われているため、日本国内では揮発性有機化合物とともに金属であるニッケル化合物が有害大気汚染物質の優先取組物質に指定され、1997年度から事業所の自主管理計画による排出削減の取り組みが行われている。その効果を具体的に把握するためにも、ニッケル金属および化合物のリスク評価が望まれる。

リスク評価は大きく暴露評価、有害性評価とリスク判定から構成されるが、暴露評価では、物質フロー分析、排出量推定、環境中濃度の推定や実測を行い、ヒトや生物の暴露量を推定することが重要である。金属は天然に存在すること、回収再利用されていること、蒸気圧が極めて低く、環境中で分解しないなどの特徴があり、まず暴露評価を具体的にを行うことが重要である。

排出量推定の際にはPRTR制度における排出移動量の報告値が有用であり、ニッケル含有製品を製造する事業所からの排出量を把握することが可能である。しかし、最終製品の使用後の廃棄段階における排出量については具体的な

データがないため、ニッケルの廃棄物量を推定した後に、排出係数を用いて排出量を推定する必要がある。その廃棄物量を推定するためには、ニッケルの製造から廃棄までの物質フローを時系列的に把握する必要がある。

鉄の物質フローについては林らが鉄スクラップ量について検討しているが¹⁾、ニッケルについて同様の知見はない。また、ニッケルの主要な用途であるステンレスについては、ステンレス協会によるステンレス鋼のリサイクル調査によって、2002年のスクラップ量が推定されている²⁾。しかし、クロム系とニッケル系の区別がされていないため、その中のニッケル量を具体的に把握することは難しい。

そこで、ニッケルの暴露評価を目的として、本論文ではニッケルの製造、出荷、廃棄に至る物質フロー分析を行い、製造量、市中ストック量、処理量を時系列的に把握し、将来予測を行った。また、物質フロー分析にはパラメータを多数使用するため結果の不確実性が生ずる。そこで、不確実性の高いパラメータの変化による結果への影響の程度を感度分析によって把握した。

平成18年4月14日受付 平成18年6月16日受理 (Received on Apr. 14, 2006; Accepted on June 16, 2006)

* (独)産業技術総合研究所化学物質リスク管理研究センター (Research Center for Chemical Risk Management, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Onogawa 16-1 Tsukuba 305-8569)

*2 廃棄物政策研究所 (Waste Policy Institute)

2. 物質フローの推定方法

2.1 製造量, 国内供給量の推定方法

1970年度から2015年度までを調査対象期間として、2005年1月現在で得られる直近（データソースによって異なる）の統計データを現在年度とし、それ以降については予測を行った。まず、ニッケル製品を13品目に区分した。すなわち、ニッケル系ステンレス鋼、その他特殊鋼、リードフレーム用42アロイ、シャドウマスク用36インバー、磁性材料、非鉄合金、ニカド蓄電池、一般用ニッケル水素蓄電池、自動車用ニッケル水素蓄電池、めっき、触媒、貨幣およびその他の品目である。また、生産量の大きいステンレス鋼については、用途による寿命の相違を考慮して、建設用、産業用、家電用、什器用、輸送用およびその他の用途の6つの用途に細分類した。統計データのない部分は業界保有のデータを援用し、データ欠落年については3次元スプライン補間法によってデータを補間した。

国内供給量の算定方法について、品目毎にTable 1の左側に示す方法を行った。ニッケル系ステンレスについては、鉄鋼統計³⁾による生産量に日本貿易月表⁴⁾による輸入量を考慮し、用途別受注統計⁵⁾のデータで各用途に按分し、SUS304を代表としてニッケル含有率8%を掛けてニッケル供給量を求めた。その他特殊鋼は鉄鋼統計のデータを使用

し、低温用鋼の9% Ni鋼でニッケル含有率を代表させた。リードフレーム用42アロイは工業レアメタル⁶⁾のデータに基づいて推定した。シャドウマスク用36インバーは、島田⁷⁾の推定値に基づいた。磁性材料、非鉄合金、めっきと触媒については資源統計年報⁸⁾のデータを使用した。ただし、めっきと触媒については、硫酸ニッケル由来の量を化学工業統計年報⁹⁾から推定して上乘せた。

ニカド蓄電池、一般用ニッケル水素蓄電池については、機械統計年報¹⁰⁾による出荷量に日本貿易月表による輸出入量を考慮した。自動車用ニッケル水素蓄電池については、電気自動車等販売台数¹¹⁾に1台あたりの搭載電池重量¹²⁾を掛けて算出した。ニカド蓄電池とニッケル水素蓄電池のニッケル含有率はそれぞれ18%と39%とした¹³⁾。貨幣については、供給枚数と貨幣種類別重量にニッケル含有率を掛けて求めた¹⁴⁾。その他製品については、資源統計年報データから貨幣相当分を控除した。

2006年以降の将来的な製造量については、Table 1の右側に示すように、蓄電池と貨幣で適切なモデルを選定して推定する一方、他製品については各種文献をもとに設定した。すなわち、建設分野全体の需要が今後数年間で2割程度減少する可能性が指摘されていることから¹⁵⁾、ステンレスの建設用と什器用については数年間で2割需要が減少すると仮定した。また、今後十年程度以内に国内製造業の鉄

Table 1. Parameters of nickel containing product categories for estimation of domestic supply and future trend.

Product Category	Estimation of Domestic Supply	Estimation of Future Trend
Cr-Ni stainless steel for construction	Allocation of Supply-Demand Statistics (Japan Stainless Steel Association) by Iron & Steel Statistics under consideration of Trade Statistics (Ni rate 8%)	20% decrease of the present [the same as the present]
Cr-Ni stainless steel for industrial machinery	ditto	ditto
Cr-Ni stainless steel for home appliances	ditto	The same as the present [20% decrease of the present]
Cr-Ni stainless steel for fixture and furniture	ditto	20% decrease of the present [the same as the present]
Cr-Ni stainless steel for transportation	ditto	The same as the present [20% decrease of the present]
Cr-Ni stainless steel for other use	ditto	ditto
Other special steel	Iron & Steel Statistics (classified by regions and demands) (Ni rate 9%)	ditto
42% Ni alloy for lead frame	Industrial Rare Metals (Ni rate 42%)	The same as the present [10% decrease and increase of the present]
36% Ni invar for shadow mask	Metal Economics Research Institute, Japan (amount of Ni was estimated)	The same as the present [20% decrease of the present]
Magnetic material	Mining, Non-ferrous metals, and Products Statistics (amount of Ni was estimated)	The same as the present [10% decrease and increase of the present]
Ni alloy	ditto	The same as the present [10% decrease and increase of the present]
NiCd battery	Machinery Statistics under consideration of Trade Statistics (Ni rate 18%)	Exponential extrapolation by the recent data
NiMH battery for general uses	ditto (Ni rate 39%)	ditto
NiMH battery for vehicles	Multiplying the electric car sales (Japan Automobile Research Institute) by the weight of a NiMH battery (Ni rate	Linear extrapolation by the recent data
Plating	Mining, Non-ferrous metals, and Products Statistics (amount of Ni was estimated)	20% decrease of the present [extrapolation - the present]
Catalyst	ditto	The same as the present [10% decrease and increase of the present]
Coin	Multiplying the coin supply (Japan Mint) by the weight of a coin and the Ni rate (8% for new 500yen, 25% for others)	Exponential extrapolation by the recent data
Others	ditto (amount of Ni was estimated)	20% decrease of the present [extrapolation - the present]

(Note) Descriptions and values with parenthesis [] mean the end-points of inputs to the sensitivity analysis.

Table 2. Expected lifetime of nickel containing products.

Product Category	Average Year for Use					
	0-year	2-3 years	5 years	10 years	10-20 years	more than 20 years
Cr-Ni stainless steel for construction	20%					80%
Cr-Ni stainless steel for industrial machinery	20%				40% (20~60)	40% (60~20)
Cr-Ni stainless steel for home appliances	20%			80%		
Cr-Ni stainless steel for fixture and furniture	20%					80%
Cr-Ni stainless steel for transportation	20%			80%		
Cr-Ni stainless steel for other use	20%				40% (20~60)	40% (60~20)
Other special steel	20%					80%
42% Ni alloy for lead frame	50%	7.5%	30%	12.5%		
36% Ni invar for shadow	30%			70%		
Magnetic material	20% (10~20)		40% (25~60)	40% (65~20)		
Ni alloy	20%				40% (20~60)	40% (60~20)
NiCd battery		50% (0)	25% (50)	25% (50)		
NiMH battery for general		50% (0)	25% (50)	25% (50)		
NiMH battery for vehicles				100%		
Plating	30%		35% (25~45)	35% (45~25)		
Catalyst	30%	70%				
Coin						100%
Others		50% (75~25)	50% (25~75%)			

(Note) Descriptions and values with parenthesis mean the end-points of inputs to the sensitivity analysis.

鋼消費量の少なくとも1割程度は減少する可能性が指摘されていることから、ステンレス産業用と家庭用については、10年後に1割減少を見込んだ。めっきおよびその他については、現在の低減傾向を反映して、10年後に2割減少すると仮定した。上記外の製品については、今後も堅調な生産量をもつと予想されるので、現状維持で推移すると仮定した。

2.2 廃棄量、市中ストック量の推定方法

累積使用年数分布には、耐久消費財の寿命を分析する際に良く用いられるワイブル分布を使用した。田崎ら¹⁶⁾によれば耐久消費財の分析においてワイブル分布は2つのパラメータを持つ下式で表すことができる。

$$W_i(y) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{y}{y_i} \right)^b \times \left\{ \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right) \right\}^b \right]$$

ここで、 $W_i(y)$ は平均使用年数 y_i の製品の経過年数 y 年における累積廃棄率、 Γ はガンマ関数、 b は使用年数分布の幅の狭さを示すパラメータである。さらに田崎らは耐久消費財について実用上 b を3.0~4.0とし、累積使用年数分布が平均使用年数のみによって記述できることを明らかにした。ここでは b を3.5とした。

累積使用年数分布からある年に供給された製品のある年における廃棄比率を算出でき、これを廃棄量とした。また、市中ストック量はその差分として計算した。各製品区分の平均使用年数については、多種多様な製品が各区分に属す

るために、おおまかな数値にならざるを得ない。そこで、Table 2のような単一または複数のカテゴリーに使用年数を分布させた。

2.3 廃棄物処理量の推定方法

各製品の処理方法について、既存データ^{17,18)}から一廃・産廃比率をTable 3、廃棄物処理比率をTable 4のように設定した。また、廃棄物焼却に伴う大気排出量を以下の設定により推定した。まず、焼却の際の揮散率を、既存データ¹⁹⁾の新規・既存データの間中値として20%と設定した。次に、一般ごみ焼却施設における排ガス処理設備の推移を前述データ^{17,18)}から推定し、1990年以前は遠心力集塵機から電気集塵機への移行段階で、1990年からダイオキシン対策によるバグフィルターへの移行を経て、2002年以降はバグフィルターにすべて移行すると仮定した。さらに、主要集塵機の特性²⁰⁾と、煤塵の粒度分布が $1 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ に2つのピークがある²¹⁾ことを考慮して、遠心力集塵機、電気集塵機、バグフィルターの捕集率をそれぞれ30%、90%、99%と設定した。

2.4 感度分析

本解析には不確実性のあるパラメータが多数必要であったため、パラメータ値の変化による結果への影響を感度分析で把握した。ニッケルのリスク評価ではモニタリングデータも含めて最新の情報が揃う2002年を対象とする予定であり、かつ将来の動向を見極める必要があり、また大気中からのニッケル吸入や埋立地からの浸出水によるヒト健康リスクや生態リスクを考慮するために、2002年と

Table 3. Ratio of municipal/industrial waste of nickel containing product categories.

Product Category	Ratio of Municipal/Industrial Waste	
	Municipal Waste	Industrial Waste
Cr-Ni stainless steel for construction		100%
Cr-Ni stainless steel for industrial machinery		100%
Cr-Ni stainless steel for home appliances	80%	20%
Cr-Ni stainless steel for fixture and furniture		100%
Cr-Ni stainless steel for transportation		100%
Cr-Ni stainless steel for other use		100%
Other special steel		100%
42% Ni alloy for lead frame	20%	80%, including production loss
36% Ni invar for shadow mask	70%	30%, including production loss
Magnetic material	80%	20%
Ni alloy		100%
NiCd battery	100%	
NiMH battery for general uses	100%	
NiMH battery for vehicles		100%
Plating	100%	
Catalyst		100%
Coin		100%
Others	100%	

(Note) Descriptions and values with parenthesis mean the end-points of inputs to the sensitivity analysis.
MSW: Municipal Solid Waste, ISW: Industrial Solid Waste, JFY: Japanese Fiscal Year

Table 4. Parameters of waste treatment of nickel containing products.

Product Category	Ration in Waste Management		
	Material Recovery	Incineration	Landfill
Cr-Ni stainless steel for construction	100%		
Cr-Ni stainless steel for industrial machinery	100%		
Cr-Ni stainless steel for home appliances	100% of ISW		100% of MSW
Cr-Ni stainless steel for fixture and furniture	100%		
Cr-Ni stainless steel for transportation	100%		
Cr-Ni stainless steel for other use	100%		
Other special steel	100%		
42% Ni alloy for lead frame	30% of MSW: after 2003 JFY 60% (50) of ISW before 2000 JFY, 75% (70) in 2001-2004 JFY, 80% (75) after 2005 JFY	Remaining of Material Recovery in MSW will be crashed. After crashed, 40% (30-50) of the residues will be incinerated.	Remaining
36% Ni invar for shadow mask	100% of ISW 100% of MSW after 2001 JFY		100% of MSW before 2000 JFY
Magnetic material	88% of MSW will be crashed and recovered. 100% of ISW	12% of MSW will be incinerated.	Remaining
Ni alloy	100%		
NiCd battery	Extrapolation of the recent data	12% and 88% of Remaining of Material Recovery in MSW will be incinerated and crashed respectively. After crashed, 40% (30-50) of the residues will be incinerated.	Remaining
NiMH battery for general uses	0%	ditto	Remaining
NiMH battery for vehicles	100%		
Plating	88% of MSW will be crashed and recovered.	12% of MSW will be incinerated.	Remaining of MSW
Catalyst	70%		30%
Coin	100%		
Others		12% and 88% of Remaining of Material Recovery in MSW will be incinerated and crashed respectively. After crashed, 40% (30-50) of the residues will be incinerated.	Remaining of MSW

(Note) Descriptions and values with parenthesis mean the end-points of inputs to the sensitivity analysis.
MSW: Municipal Solid Waste, ISW: Industrial Solid Waste, JFY: Japanese Fiscal Year

2015年の焼却量と埋立量を感度の対象にした。

また、具体的に検討する因子として、国内供給量の将来推定、製品の耐用年数分布、使用後製品の一廃/産廃比率、

廃棄物処理量比率の5つを検討し、Table 1, 2, 4のそれぞれの括弧に示される実際にありうる数値の幅をもって感度分析を行った。

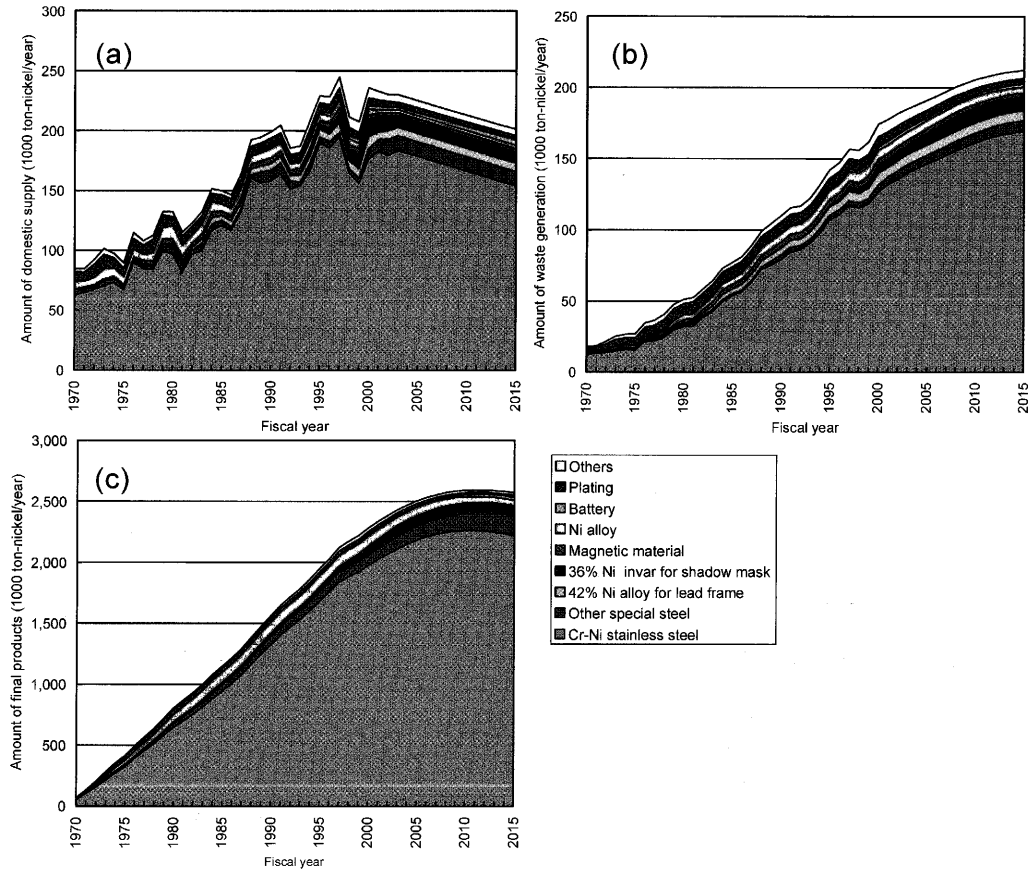


Fig. 1. Change in the nickel amount of (a) domestic supply, (b) waste generation, (c) gross additions to stock classified by product categories.

3. 解析結果および考察

3.1 国内供給量、廃棄量および市中ストック量

ニッケルの国内供給量、廃棄量および市中ストック量の推定結果を Fig. 1 に示す。1997~2000年に国内供給量のピークが250千トン/年のレベルで推移した。それ以降は漸減して、2015年には200千トン/年程度になると推定した。そのうちステンレス鋼用途が7~8割を占め、大きな需要量であることがわかる。ステンレス以外では、半導体に使用されるリードフレーム用42アロイとシャドウマスク用36インバーの量が2000年前後から多くなっている。また、製品のストック量は2010年頃に2,500千トンのレベルでピークを迎えると予想される。そして、廃棄量は将来に向けて増加傾向であり、2015年には200千トン/年を超過し、国内供給量を上回ることが想定される。

3.2 廃棄物処理量

処理方法別廃棄量の推定結果を Fig. 2 に示す。この結果から、例えば2002年度の廃棄物処理方法別の処理量比率は、物質回収率が約91%、埋立率が約7%で、焼却にまわるのが2%程度と推定されたが、2015年度には物質回収率が97%にまで向上すると推定された。その理由として、回収率の高いステンレスの廃棄物発生量が今後増加するとともに、2000年に使用量がピークであったシャドウマ

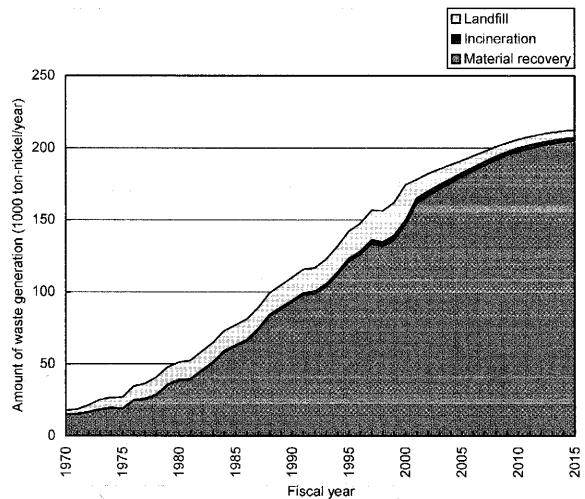


Fig. 2. Change in the amount of waste generation classifying by waste treatment.

スク用36インバーの回収量が、家電リサイクル法実施に伴い今後増加することが挙げられる。また、一般廃棄物と産業廃棄物のそれぞれの廃棄量の推定結果を Fig. 3 に示す。一般廃棄物の廃棄量の中では、家電用ステンレス、42アロイ、36インバー、磁性材料などが多く、特に半導体に使用される42アロイや磁性材料は家庭から一般ごみに混入しやすいことが想定される。産業廃棄物はステンレスが

8割程度を占めることが推定された。

物質回収量，焼却量と埋立量の推定結果を Fig. 4 に示す。その結果，物質回収量ではステンレスが8割以上と高く，ステンレスのリサイクルシステムが構築されていることを示している。また埋立量については，2001年の家電リサイクル法施行により埋立量低減の効果を及ぼしており，リードフレーム用42アロイやめっき製品などが，今後の埋立に係る主要な品目となると推定された。焼却量ではリードフレーム用42アロイとその他の製品の量が大きいことが推定された。特に42アロイは半導体の微細な部品として利用されることから，一般ごみの燃焼系へ混入する

割合が大きいと想定される。そして，焼却による大気排出量を2002年度で約7トン／年と推定したが，物質回収量の向上により2015年度には約4トン／年と半減することが推定された。

3.3 感度分析

感度分析によって2%以上の偏差のあった感度対象とその結果を Table 5 に示す。埋立量を対象とした結果からは，2002年度は最大で2%の偏差にとどまっており，2002年度の物質フロー解析の結果については妥当と考えられるが，2015年度ではその他製品の生産量の因子に対して14.3%の大きい偏差となり，2015年度の物質フローについては不

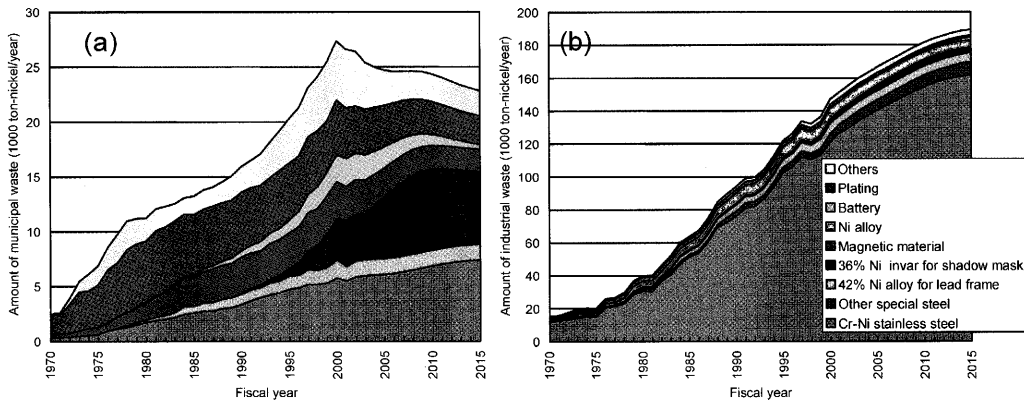


Fig. 3. Change in the amount of (a) municipal waste, (b) industrial waste of nickel classified by product categories.

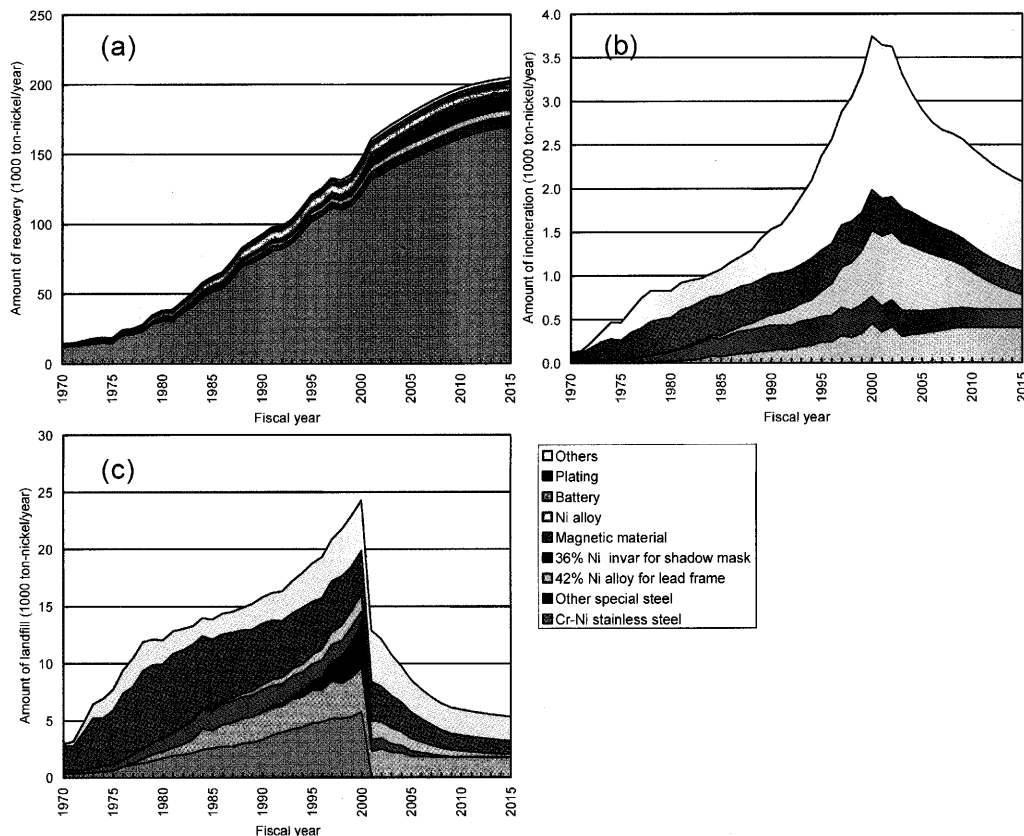


Fig. 4. Change in the amount of (a) nickel recovery, (b) incineration of nickel, (c) landfill of nickel classified by product categories.

Table 5. The result of sensitivity analysis.

Target function	Input of interest		Distribution (%)	Variation (%)
	Factor	Product category		
The amount of incineration in 2002	The way of municipal waste treatment	Others	-8.6 ~ 8.6	17.3
	The way of municipal waste treatment	42% Ni alloy for lead frame	-2.9 ~ 2.9	5.8
	The way of municipal waste treatment	NiMH battery for general uses	-2.7 ~ 2.7	5.4
	The distribution of expected lifetime of product	Others	-2.1 ~ 2.1	4.1
	The distribution of expected lifetime of product	NiMH battery for general uses	-2.7 ~ 0.0	2.7
The amount of landfill in 2002	The distribution of expected lifetime of product	Others	-1.0 ~ 1.0	2.0
The amount of incineration in 2015	The amount of domestic supply	Others	-36.8 ~ 9.4	46.2
	The way of municipal waste treatment	Others	-9.7 ~ 9.7	19.4
	The way of municipal waste treatment	42% Ni alloy for lead frame	-4.9 ~ 4.9	9.8
	The amount of domestic supply	42% Ni alloy for lead frame	-1.6 ~ 1.6	3.2
	The distribution of expected lifetime of product	NiMH battery for general uses	0.0 ~ 2.9	2.9
	The way of municipal waste treatment	NiMH battery for general uses	-1.2 ~ 1.2	2.4
The amount of landfill in 2015	The amount of domestic supply	Others	-11.4 ~ 2.9	14.3
	The amount of domestic supply	Cr-Ni stainless steel for home appliances	-4.8 ~ 0.0	4.8
	The amount of domestic supply	42% Ni alloy for lead frame	-1.2 ~ 1.2	2.4

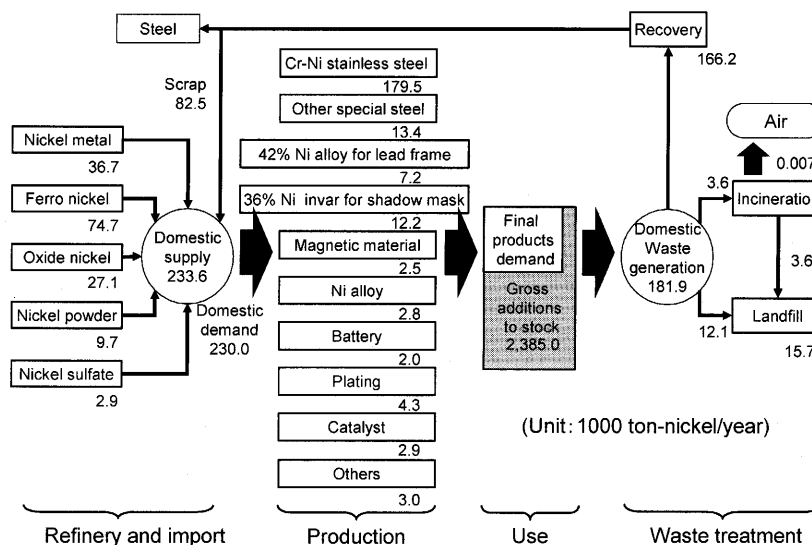


Fig. 5. Substance flow of nickel in fiscal year 2002.

確実性が伴う結果となった。一方、焼却量を対象とした感度分析の結果からは、2002年度では、その他製品の一廃処理方法の因子に対して17.3%の大きい偏差となり、2015年度では、その他製品の国内供給量の因子に対して46.2%と非常に大きい偏差となった。その他製品については本論文で収集した以上の情報はなく、焼却量については幅をもった推定が必要であることが明らかとなった。

4. 結言

本研究では、ニッケルの暴露評価を目的としてニッケルの製造、出荷、廃棄に至る物質フロー分析を行い、製造量、市中ストック量、処理量を1970年から2015年まで時系列的に推定した。また、不確実性のあるパラメータの変化による結果への影響の程度を感度分析によって把握した。その結果、将来の2015年には国内廃棄量が国内供給量と同じ200千トン/年レベルにまで増加するが、回収率の向上により物質回収量が増加して、埋立量と焼却量は2015年には2002年の半分程度に低減し、大気排出量も半減すると想定された。また、感度分析の結果、その他製品の品目

については国内供給量と一廃処理方法の偏差が大きく、特に焼却量については幅をもった推定が必要であることが明らかとなった。

よって、ニッケルの国内供給量、廃棄物焼却量と埋立量ともピーク時にあたる2000年前後の物質フローによる定常状態での暴露評価を行うことで、厳しい条件でのニッケルのリスク評価が可能になると判断できる。そこで、今回の解析結果から得られる2002年の物質フロー (Fig. 5 参照) をもとに、焼却量については、4300トン/年の感度10%弱の幅を見込んだ3900~4700トン/年を想定して、ニッケルおよびニッケル化合物のリスク評価に適用することが望まれる。

本研究はNEDOプロジェクト「化学物質総合評価管理プログラム」の一環として実施された。

文 献

- 1) S.Hayashi and W.Tamaki: *Tetsu-to-Hagané*, **91** (2005), 141.
- 2) T.Furuyama, S.Hayashi and S.Matsuo: *CAMP-ISIJ*, **17** (2004), 889.
- 3) Ministry of Economy, Trade and Industry: Year Book of Iron and Steel Statistics, (1971-2004).
- 4) Ministry of Finance Japan: Trade of Japan, (1971-2004).

- 5) ステンレス鋼板用途別受注統計, ステンレス協会調査統計委員会, 東京, (1971-2004).
- 6) 工業レアメタル, アルム出版社, 東京, (1971-2004).
- 7) 島田正典: IT機器に関する主要レアメタルのリサイクル動向, 社団法人日本経済メタル経済研究所, 東京, (2001).
- 8) Ministry of Economy, Trade and Industry: Year Book of Minerals and Non-ferrous Metals Statistics, (1972-2005).
- 9) Ministry of Economy, Trade and Industry: Year Book of Chemical Industry Statistics, (1971-1999).
- 10) Ministry of Economy, Trade and Industry: Year Book of Machinery Statistics, (1972-2005).
- 11) 電気自動車について, 財団法人日本自動車研究所, 東京, (2005).
- 12) 社団法人電池工業会私信 (2005年4月).
- 13) 小形二次電池の回収・リサイクル推進のための方策について, 経済産業省二次電池リサイクルシステム検討会・環境省パソコン等リサイクル検討会合同検討会, 東京, (2001).
- 14) 独立行政法人造幣局私信 (2005年10月).
- 15) 鉄鋼業の競争力強化と将来展望研究会中間報告, 鉄鋼業の競争力強化と将来展望研究会, 東京, (2001).
- 16) T.Tasaki, M.Oguchi, T.Kameya and K.Urano: *J. Jpn. Soc. Waste Manage. Experts*, **12** (2001), 49.
- 17) 日本の廃棄物処理 (昭和46年-平成14年), 環境省, 東京, (1971-2003).
- 18) H.Jung, Y.Tsukushi, T.Matsuto, N.Tanaka, Y.Kakuta and T.Matsuo: Proc. of the 14th Annual Conf. of the Japan Society of Waste Management Experts, (2003), 34.
- 19) A.Kida: *J. Environ. Chem.*, **13** (2003), 51.
- 20) ごみ処理施設整備の計画・設計要領, 社団法人全国都市清掃会議ら, 東京, (1999).
- 21) T.Urabe: *Sanitary Eng. Res.*, **22** (1986), 49.