

45 リン (P)

## 45 リン(P)

### 45.1 マテリアルフロー分析

リンは、生体の必須元素であり、農作物や食肉、海産物などの食料をはじめ動植物に多く含まれる。人体には、骨や歯の成分であるリン酸カルシウムなどとして 6 番目に多く含まれる元素である。また肥料の3大要素のひとつでもあり、農産物の育成に不可欠な成分である。工業的な出発原料はリン鉱石であり、その 9 割はリン酸塩や海鳥のふんの堆積による海成系リン鉱石である。日本には  $P_2O_5$  を 30%以上含むリン鉱石がなく、全量輸入に依存している。

2008 年のリン鉱石の最大の生産国は中国(50,000 千t、16,000  $P_2O_5$  千t)であり、次いで米国(30,900 千t、9,890  $P_2O_5$  千t)、モロッコ(西サハラ含む:28,000 千t、8,960  $P_2O_5$  千t)、ロシア(11,000 千t、4,520  $P_2O_5$  千t)の順に生産量が大きく、総生産量は 167,000 千トンである(USGS 2009)。2008 年時点で、可採鉱石埋蔵量は 150 億t、埋蔵量は 470 億tであり、同年の採掘生産量からみて、可採鉱量で 90 年、埋蔵量で 281 年あるものの、米国が輸出禁止、中国が輸出関税を 100%に引き上げ実質的な禁輸措置が取られている。

一方、世界的な穀物需要の増加やバイオエタノールの生産等によりリン酸質肥料の需要が増大しリン鉱石の価格が急騰している。これらの状況を考慮すると、供給対策が必要であり、すでにリン資源リサイクル推進協議会が 2008 年 12 月設立され、活動している。

リンは、リン鉱石を主に硫酸で反応させたリン酸を出発原料として、肥料や工業用途に使用される。リン鉱石の世界消費量の 90%は肥料用、10%程度が飼料用と工業用とされる。日本では約 80%が肥料用で、工業用途が多いことが特徴とされている。

表 1 リンの輸入

単位:千 t

品目	純分含有率	2007		2008			
		輸入量	輸入(純分)	輸入量	輸入(純分)	輸出量	輸出(純分)
リン鉱石	10%	722	72	776	78	0.003	0.00
リン酸肥料	13%	152	20	107	14	0.6	0.1
複合肥料	7%	764	54	788	55	34	2
リン	100%	29	29	31	31	0.1	0.1
リン酸	39%	44	17	65	25	20	8
リン酸塩	30%	74	22	65	19	11	3
合計		1,785	213	1,832	223	65	14

出典:財務省貿易統計

鉄鋼産業では、鉄鋼特性に有害なリンを製鋼過程において製品から徹底的に除去するため、製鋼スラグ中にリンが濃縮される。製鋼スラグは年間 10 百万tも排出するので、これを再利用できれば、現在輸入しているリン鉱石分にほぼ匹敵するリン量を賅うことができる。ちなみに、製鋼スラグは現在、その大部分がコンクリート骨材や路盤材等の建設用材料に利用されている。

リンの 2007、2008 年の輸出入を表 1 に示す。リン鉱石の主要な輸入相手国は、中国(2008 年約 34%)、ヨルダン(同年約 21%)、モロッコ(同年約 24%)、南アフリカ(同年約 19%)であり、これらの 4 カ国で全体のおよそ 98%を占める。一方、輸出量は純分で輸入量の 1/10 以下である。

リンの輸入価格推移を図 1 に示す。2008 年には、前年の 3 倍以上に急騰している。

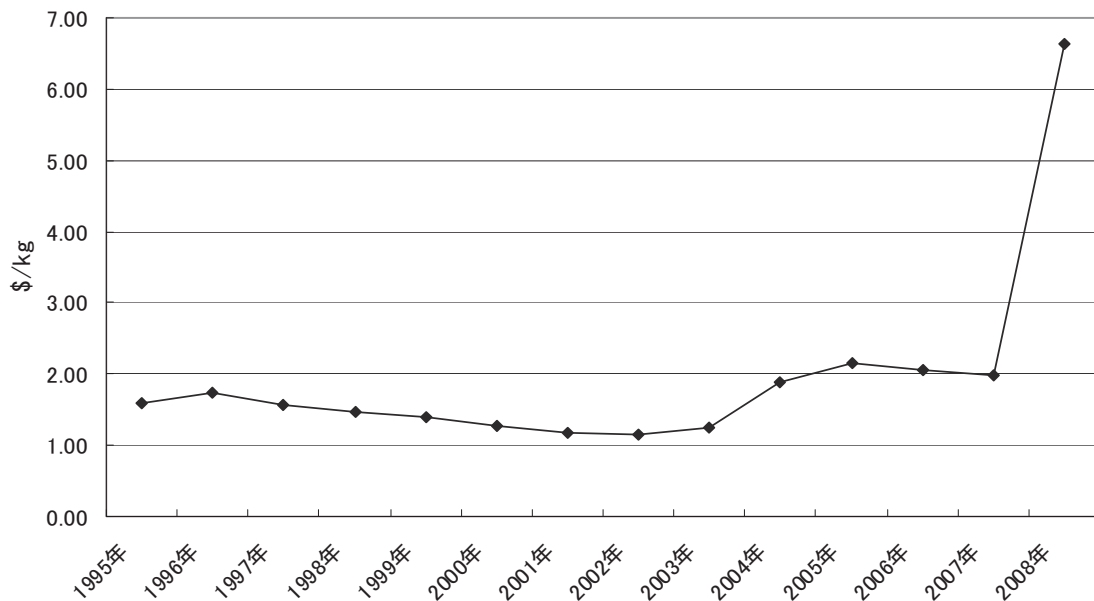


図1 リンの輸入価格推移

リン鉱石から造られるリン酸液(湿式)の主要メーカーには4社あり、肥料用を中心とした1、2位の日本燐酸、セントラル硝子と、工業用途主体の東洋燐酸、東ソーである。湿式リン酸から造られる大量の肥料用燐安(リン酸アンモニウム)の主要メーカーも、日本燐酸とセントラル硝子である。また、窒素やカリウムとの複合肥料である化成肥料系メーカーには、三菱化学アグリ、コープケミカル、チッソ旭肥料、セントラル合同肥料、日産アグリ、多木化学、片倉チッソカリ、三井東圧肥料など多数がある。

リン鉱石から造られる湿式リン酸液を精製したリン酸は、工業用途にも使用される。中国ほか海外でリン鉱石から造られたリン単体の黄リンを輸入精製したものを出発原料とした、乾式リン酸やリン化合物の多くは工業用途に用いられる。乾式リン酸メーカーには日本化学工業、ラサ工業がある。湿式リン酸と共に、工業無機薬品、医薬品、食品添加剤等様々な用途に用いられる。

リン酸以外の工業用リン化合物で生産量が多いものは、オキシ塩化リンや三塩化リン、次いでリン酸カルシウムやリン酸ナトリウムなどの正リン酸塩である。リン酸及びこれらリン二次製品は、金属表面処理液や医薬、農薬、繊維染色、食品・醗酵、污泥処理、樹脂の可塑剤や安定剤、難燃剤、洗剤など多方面に用いられる。

精製黄リンからはリン二次製品以外にも、安定な同素体である取り扱い容易な赤リンや、非鉄伸銅用途のリン含有地金が製造される。リン含有地金の9割以上を占めるリン銅地金(15%P, 8%P)やリン鉄地金(20%P)、或いはリンニッケル地金(20%P)やリン錫地金(5%P)のリン含有地金に、リン銅ろう材料(BCuP-2, 7%P)を加えたリン含有地金国内販売量は、およそ3,000tと推定される。製造に多量の電力を要する黄リンはすべて輸入され、精製黄リンは日本化学工業や燐化学工業などにより、赤リンは燐化学工業、高純度赤リンがラサ工業などにより製造されている。リン銅などリン含有地金関連メーカーは大阪合金工業所1社であり、化合物半導体材料メーカーにはリン化ガリウム(GaP)の古河電子と住友金属鉱山、リン化インジウム(InP)の日鉱金属と住友電工がある。

リンの出発原料であるリン酸および主要製品である化学肥料の生産動向を表2に示す。

赤リンを精製した高純度赤リンは、GaやInに再び黄リン(白リン)の形で拡散させる化合物半導体材料とされるので、少量ながら産業上重要である。

表 2 主要リン製品の生産

単位:千 t

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	08/03 比
リン酸 <sup>1)</sup>	167	177	179	167	145	153	92%
リン酸肥料 <sup>2)</sup>	401	386	374	345	365	289	72%
複合肥料 <sup>2)</sup>	2,492	2,487	2,413	2,327	2,365	2,025	81%

出典:1)化学工業統計、2)肥料アンモニア協会

肥料アンモニア協会のデータは肥料年度(7月～翌6月)

表 3 化合物半導体の出荷額

単位:百万円

		2005	2006	2007	2008	08/05 比	08 構成比
GaP	合計	9,431	9,614	8,455	5,433	58%	15%
	国内	3,048	2,718	2,307	1,768		
	輸出	6,383	6,896	6,148	3,665		
InP	合計	2,559	2,904	2,788	2,654	104%	7%
	国内	1,265	1,295	1,297	1,301		
	輸出	1,294	1,609	1,491	1,353		
GaAs	合計	34,473	37,450	38,851	27,686	80%	75%
	国内	19,441	18,276	20,752	15,337		
	輸出	15,032	18,274	18,099	12,349		
その他	合計	815	961	1,015	1,111	136%	3%
	国内	182	278	205	188		
	輸出	633	683	810	923		
合計	合計	47,278	50,929	51,109	36,884	78%	100%
	国内	23,936	22,567	24,561	18,594		
	輸出	23,342	27,462	26,548	18,290		

出典:工業レアメタル 125.2009

表 3 に化合物半導体の出荷額を示す。GaP、InP は化合物半導体市場で出荷額が比較的 low、需要も伸び悩んでいる。

鉄鋼製品にとり不純物であるリンは、製鋼過程で製品中 0.01%P 濃度まで除去されるため、製鋼スラグ(転炉と電炉スラグ)に濃縮することになる。この製鋼工程から副産物として生成される製鋼スラグは、新日本製鉄、JFE、住友金属、神戸製鋼、日新製鋼など大手鉄鋼メーカーから主に産出される。粗鋼生産量に対して 12%程度のスラグが生成し、これらは道路材料やセメントほかの土木建設用材料などに利用されているが、リン原料目的の再利用ではないので、リン自体は廃棄されていることに等しい。

最近 5 年間の製鋼スラグの生成量と利用量推移を表 6 に示した。

表 6 国内粗鋼生産量と製鋼スラグの生成量、利用量、再利用量の推移

単位:千 t

年 度		2004 年度	2005 年度	2006 年度	2007 年度	2008年度
粗鋼生産量		112,897	112,706	117,745	121,511	105,500
製 鋼 ス ラ グ	生成量	12,919	13,427	13,865	14,136	13,208
	総出荷量	13,404	14,897	15,148	16,099	13,631
	利用量	13,018	14,580	14,806	15,684	13,192
	埋立等	386	317	342	415	439
	再利用量	2,064	1,977	1,956	1,656	1,661

出典: 鐵鋼スラグ協会

#### 45. 2 リサイクルの現状と評価

末尾掲載のマテリアルフロー図から、リンとしてリサイクルされている量は、食飼料ルートとリン酸肥料・リン鉱石・化学工業ルートのリン成分を出発源とした 41 千tP 量に、鉄鋼ルートの鉄スクラップリサイクル原料分 4 千tP 量を加えた量である。これは国内への 2008 年投入全リン量 246 千tP の約 17%に相当する。

鉄鋼ルートにおいて、製鋼過程で生成する製鋼スラグが、路盤材やコンクリート材料として利用されており、再利用として考えると約 80 千トンの P 量がこれに加わり、2008 年投入全リン量 246 千tの約 50%がリサイクルされたとみなせる。また、食飼料や肥料ルート末端の生活排水から生じる汚泥の一部も同材料に利用され、製鋼スラグ分と併せると新規供給リン量の約 83%に当たる。しかしながら、これらは構造材料としての利用であって、リンとしてのリサイクルではない。

現在、製鋼スラグに存在するリン酸カルシウムを分離回収する検討がなされており、製鋼スラグがリン原料として利用されると仮定すると、年間輸入リン鉱石量を上回る 80 千tの P 量を賅うことができる。他方、生活排水(し尿ふん尿)により生成する汚泥(39 千tP 量)からの人工リン鉱石としての回収再利用プロジェクトも、コンソーシアムで検討されており、製鋼スラグ分と併せると、2008 年輸入鉱石の 1.5 倍を代替できる量に相当するリン量をリサイクル資源化できることになる。

従って、現在はリンとしてのリサイクル率は、僅か 6%未満に止まると考えられるが、今後、新たなリン源の開発が進められる見込みである。

リン(P)

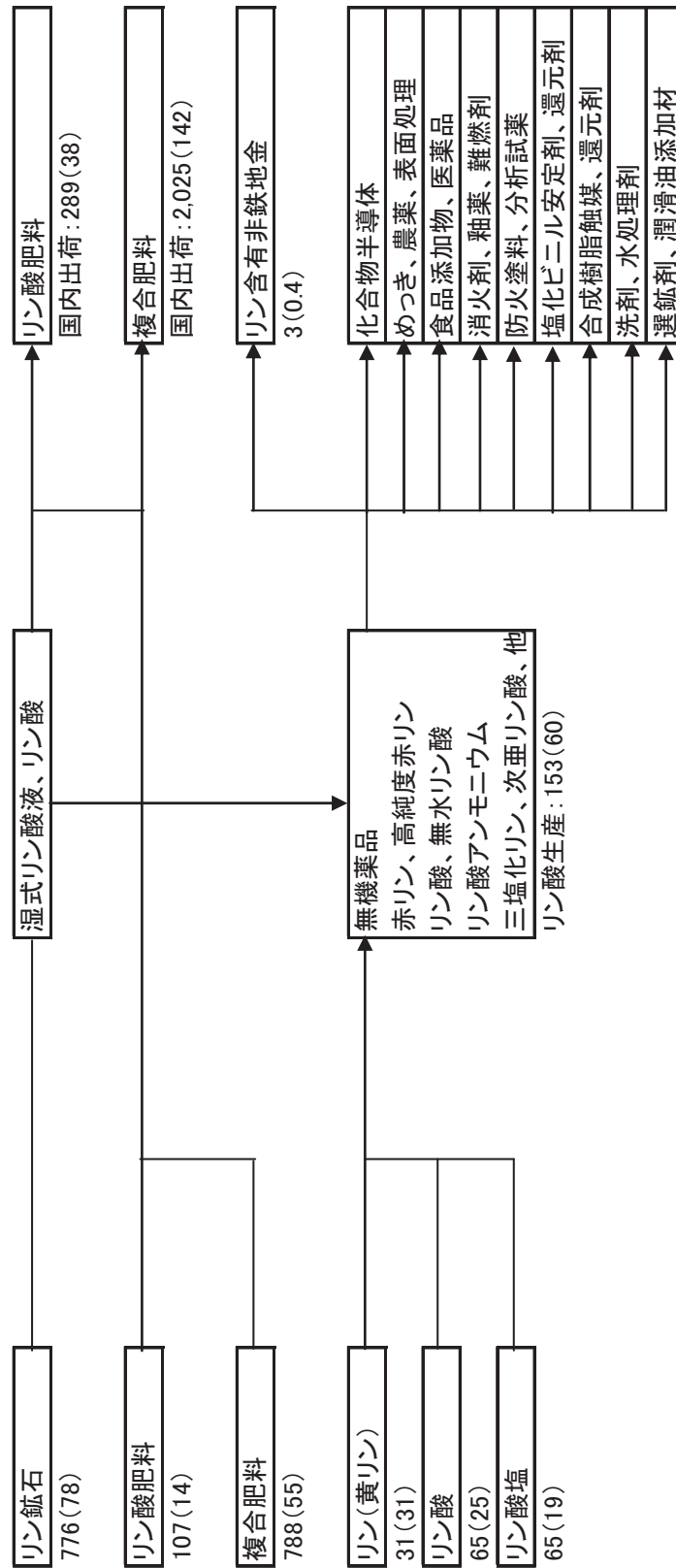
2008年ベース

単位：千t(カッコ内純分千t)

主応用製品

輸入原料

主要製品



純分含有率：鉱石10%、リン酸肥料13%、複合肥料7%、リン酸39%、リン酸塩30%

リン(P)

リサイクルの現状

主な応用製品	利用形態	使用済みの存在形態 形態	リサイクルの実態		リサイクル形態		リサイクル率 %	リサイクルの現状 評価(A~G) (注③)	備考 (注④)
			リサイクルの 実態	リサイクルの 形態(注②)	リサイクルの 形態(注②)	リサイクルの 形態(注②)			
食料	農作物 肉・油脂類 海産物	生活排水 し尿・ふん尿 コンポスト	60	肥料	1~3年	17	D,E		
			43	路盤材等	2~5年	10			
化学工業製品	肥料・飼料 成分	農作物・肉類 土壌蓄積 河川流出・埋立	203	肥飼料・コンポスト	1~5年	30	A,B,C,D		
			398	蓄積と河川流出		~0			
道路・建設資材	製鋼スラグ成分	道路、構造物	114	なし 道路・建設用資材	不明	0(Pとして) (鉄鋼材料 では15~25)	G		

注 ①の量の単位:

( )は使用量純分t  
その他は発生量純分t

②サイクル:

( )内は推定耐用年数  
その他は実リサイクル年数

③現状評価

A. 応用製品が消耗品である

B. 添加物として使用されている

C. リサイクルの流通システムがない

D. 効果的なリサイクル技術がない

E. 経済性がない

F. 需要開発が十分にされていない

G. その他

④リサイクルのボトルネック

と、解決の難易度

毒性、保管の危険性の有無等