

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P₂O₅を30%以上含むリン鉱石がなく、全量輸入に依存している。

2010年のリン鉱石の最大生産国は中国(65,000千t、20,800P₂O₅千t)であり、次いで米国(26,100千t、8,352P₂O₅千t)、モロッコ(西サハラ含む:26,000千t、8,320P₂O₅千t)、ロシア(10,000、3,200P₂O₅千t)と続く。総生産量は176,000千tである(USGS:MCS2011)。2010年時点で埋蔵量は650億tであり、同年の採掘生産量からみて可採年数は369年となるものの、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るが、すでにリン資源リサイクル推進協議会が2008年12月に設立され、活動している。

またリンは、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、肥料及び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%程度が飼料用及び工業用に使われている。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。

鉄鋼業では、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。製鋼スラグは年間約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賄うことができる。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使用されている。

リンの2009、2010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(約51%)、モロッコ(約20%)、南アフリカ(約18%)、ヨルダン(約6%)であり、これらの国で全体の約95%を占める。一方、総輸出力は純分で1/10以下である。

表1 リンの輸出入(2009、2010年)

単位:千t

品目	純分含有率	2009年		2010年			
		輸入量	輸入量(純分)	輸入量	輸入量(純分)	輸出力	輸出力(純分)
リン鉱石	10%	479	48	310	31	0	0
リン酸肥料	13%	67	9	100	13	491	64
複合肥料	7%	597	42	571	40	22	2
リン	100%	14	14	24	24	0	0
リン酸	39%	56	22	67	26	10	4
リン酸塩	30%	61	18	77	23	17	5
合計		1,273	152	1,149	157	540	75

出典:財務省貿易統計

リンの輸入価格推移を図1に示す。2008年の急騰から2009年以降は続落している。

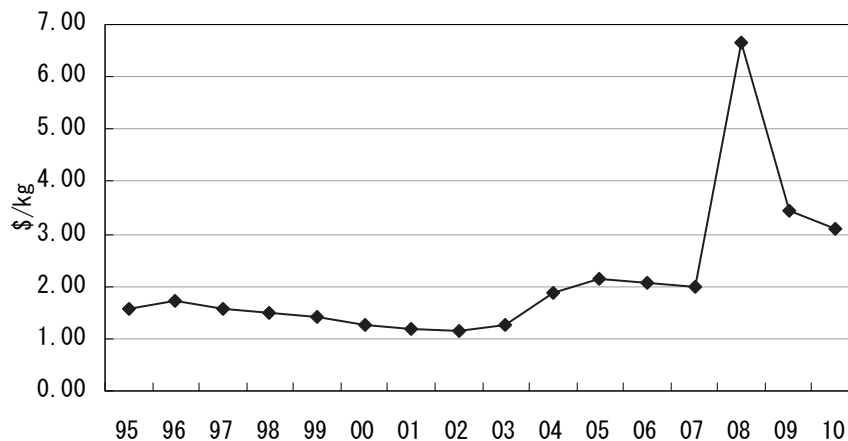


図1 リンの輸入価格推移

リン鉱石から造られるリン酸液(湿式)の国内主要メーカーは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リン酸(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、多木科学、片倉チッソカリ、三井東圧肥料など多数存在している。

湿式リン酸液を精製したリン酸は、工業用途にも使われる。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、表面処理液や医薬、農薬、繊維染色、食品・発酵、汚泥処理、樹脂の可塑剤や安定剤、難燃剤、線材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(P15%、P8%)やリン鉄地金(P20%)、或いはリンニッケル地金(P20%)やリン錫地金(P5%)のリン含有地金に、リン銅ろう材料(BCuP-2, P 7%)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、精製黄リンは日本科学工業や燐化学工業などにより、赤燐は燐化学工業、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JX日鉱日石金属と住友電工がある。

リンの出発原料であるリン酸及び主要製品である科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

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	10/05比
リン酸 ¹⁾	179	167	145	153	75	100	56%
リン酸肥料 ²⁾	374	345	365	289	241	270	72%
複合肥料 ²⁾	2,413	2,327	2,365	2,025	1,988	2,097	87%

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安く、需要も伸び悩んでいる。

表3 化合物半導体の出荷額

単位:百万円

		2006	2007	2008	2009	2010	10/06比	10構成比
GaP	合計	9,614	8,455	5,433	5,295	5,631	59%	14%
	国内	2,718	2,307	1,768	1,510	1,469		
	輸出	6,896	6,148	3,665	3,785	4,162		
InP	合計	2,904	2,788	2,654	2,537	3,191	110%	8%
	国内	1,295	1,297	1,301	1,144	1,528		
	輸出	1,609	1,491	1,353	1,393	1,663		
GaAs	合計	37,450	38,851	27,686	28,405	31,230	83%	77%
	国内	18,276	20,752	15,337	13,825	16,813		
	輸出	18,274	18,099	12,349	14,580	14,417		
その他	合計	961	1,015	1,111	567	526	55%	1%
	国内	278	205	188	66	31		
	輸出	683	810	923	501	495		
合計	合計	50,929	51,109	36,884	36,804	40,578	80%	100%
	国内	22,567	24,561	18,594	16,545	19,841		
	輸出	27,462	26,548	18,290	20,259	20,737		

出典:工業レアメタル127, 2011

鉄鋼製品にとり不純物であるリンは、製鋼過程で製品中 P0.01%濃度まで除去されるため、製鋼スラグ(主として転炉)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算出される。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他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4に示した。

表4 国内粗鋼生産量と製鋼スラグの生成量、利用量、再利用 単位:千t

		2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
粗鋼生産量		117,745	121,511	105,500	96,449	110,792
製鋼スラグ	生成量	13,865	14,136	13,208	11,504	13,474
	総出荷量	15,148	16,099	13,631	11,859	13,012
	利用量	14,806	15,684	13,192	11,583	12,714
	埋立量	342	415	439	276	298
	再使用量	1,956	1,656	1,661	1,647	2,253

出典:鉄鋼スラグ協会

45.2 リサイクルの現状と評価

リンは、肥料や金属の表面処理など幅広い分野で使用されているが、リンとしてのリサイクルは殆ど進んでいない。リサイクルされているのは食料・飼料がリン酸肥料・リン鉱石・化学工業のリン成分を出発源としたコンポスト中の P 量 40 千 t に、鉄鋼ルートの鉄スクラップリサイクル原料分 4 千 t P 量を加えた量である。これは 2010 年の輸入量 158t(純分ベース)の約 28%に相当する。

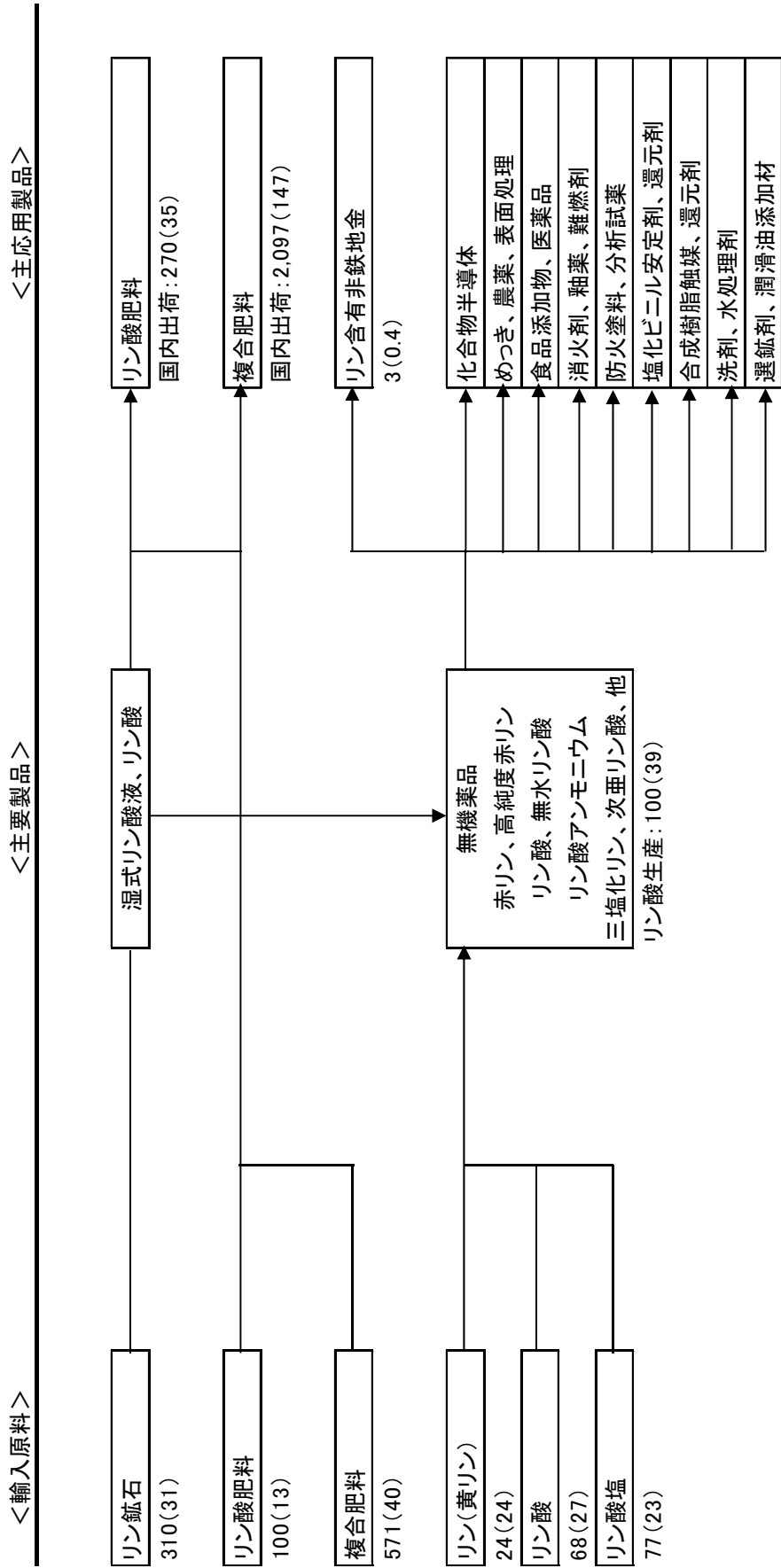
鉄鋼製造では、製鋼過程で生成する製鋼スラグが路盤材やコンクリート材料として利用されており、再利用として考えると約 71 千 t の P 量がリサイクルされている。食料・資材や肥料ルートの末端の生活排水から生じる汚泥の一部も同材料に利用され(10 千トン程度)、製鋼スラグ分と併せると約 80 千トンとなり、輸入量の約 51%に当たる。しかしながら、これらは構造材料としての利用であり、リンとしてのリサイクルではない。

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 71 千 t の P 量を賄うことができる。他方、生活排水(し尿ふん尿)により生成する汚泥(P40 千 t 量)からの人口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、2010 年の輸入鉱石の P 純分 31 千 t の 3.6 倍を代替できる量に相当するリン量をリサイクル資源ができることになる。

従って、現在はリンとしてのリサイクル率は僅か 2%程度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)のマテリアルフロー(2010)

単位:千t(カッコ内純分千t)



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		リサイクル形態			リサイクルの現状 評価(A~G) (注③)	備考 (注④)
		形態	量(注①) 千tP	リサイクルの実態	リサイクルのサイクル(注②)	リサイクル率 %		
食糧	農作物 肉 海産物	生活排水 し尿・ふん尿 コンポスト	40 30	肥料 路盤材等	1~3年 2~5年	17 10	D, E	
化学工業製品	成分	河川流出・埋立	71	なし	不明	0(Pとして)	G	
道路・建設資材	製鋼スラグ製品	道路、構造物		道路・建設用資材				

注①の量の単位:

()内は使用量純分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