



燐にひかれて

Dragged by Phosphorus

田部井 清吉

Seikichi Tabei

1 リン酸塩との出会い

入社して間もない(1958年)頃、当時新製品として製造が始まったばかりの炭酸リチウム製造工程(Fig. 1)で炭酸リチウム析出後の廃液に残る溶解度相当のリチウムの回収検討を命ぜられ、Fig. 2 の様な回収工程を考え実験したことがある。

繰り返しの回数が少ないときは良かったが反応条件なのか、分離条件なのか分らぬが突如として燐酸アルミが

沈降しなくなり分離が不可能になってしまうのである。当時のスラリーの分離技術は今では考えられぬほど低く、デカンターも遠心機もない状態で自然のままの重力沈降が唯一の分離手段であった。しかし不思議なことに突如として沈降が良いものになることがあるのでなかなかこの工程をあきらめきれず毎日毎日沈降しないスラリーとにらめっこしていた。悪戦苦闘の結果判った事であるが、その原因は AlPO_4 の生成pH域が(pH 2.3 ~ 2.8)とせまく pH 2.9 以上になると沈降性の悪い $\text{Al}(\text{OH})_3$ が生成してくるためであった。

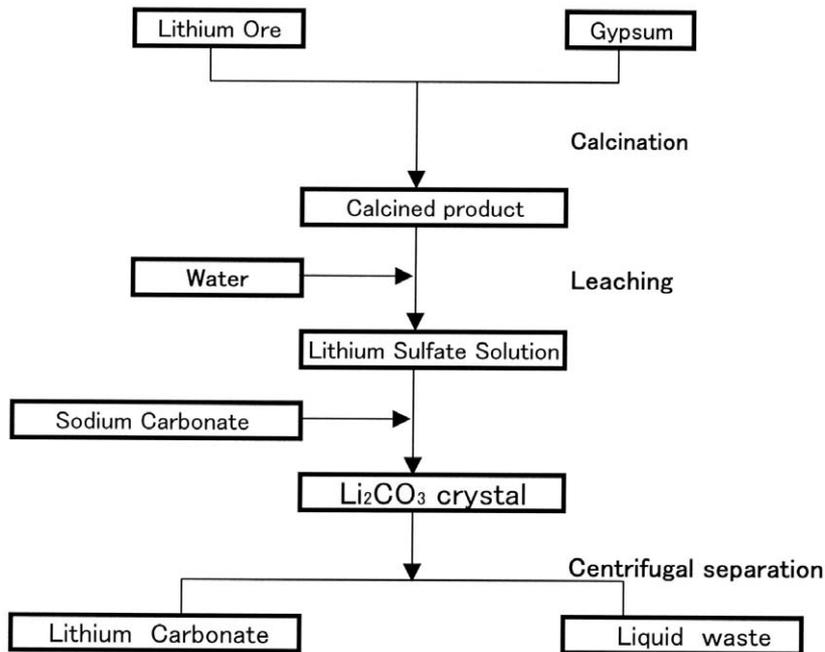


Fig. 1 Li_2CO_3 manufacturing process.

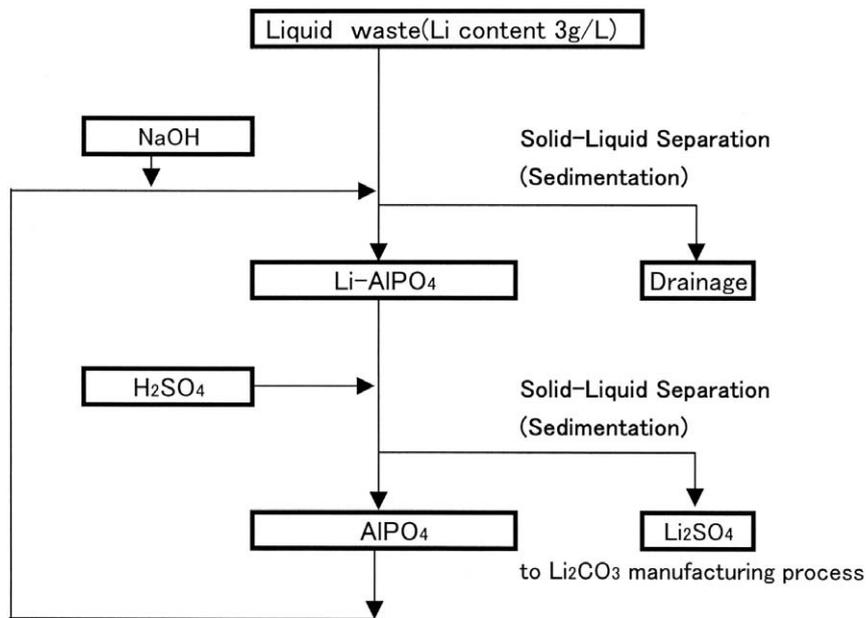


Fig. 2 Lithium recovery process (1).

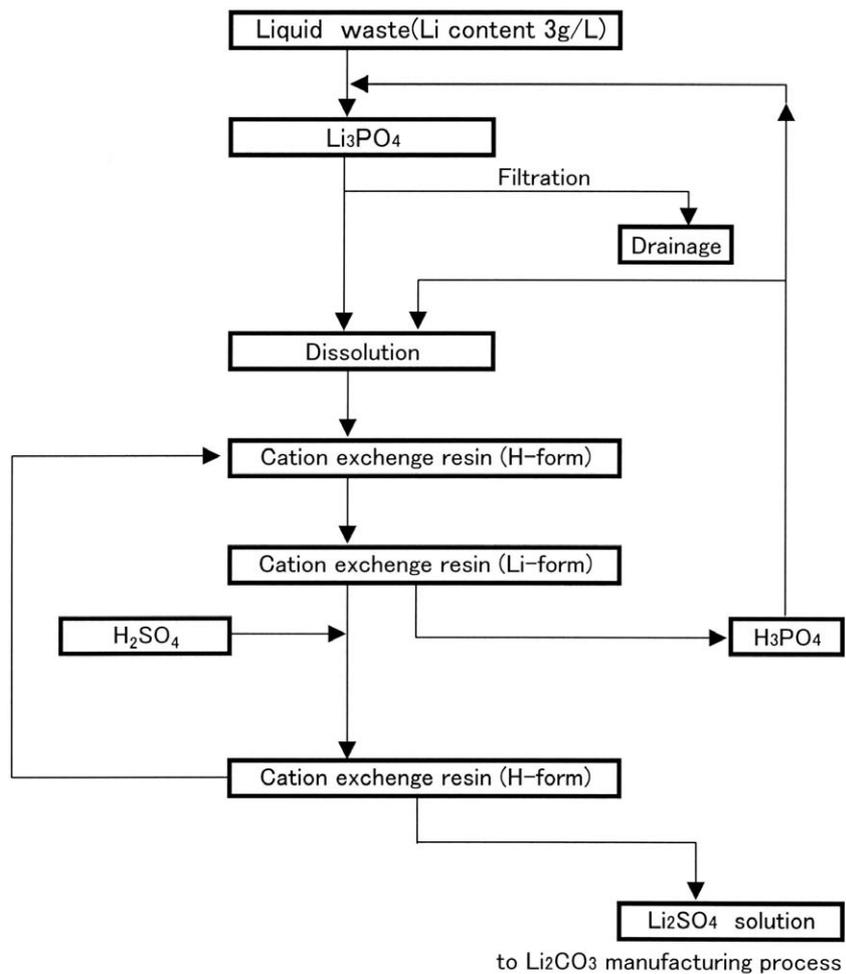


Fig. 3 Lithium recovery process (2).

判ってしまえば当たり前のことであったが当時の技術屋かけ出しの私にとっては泣きたいような日々であった。

これが私とリン酸塩との最初のかかりであったが、以後四十年のつき合い始めになるとは夢にも思わなかった。

このリチウム回収検討時に体験した、イオン交換樹脂中のリン酸の不思議な挙動も忘れられない。当時としては高価なイオン交換樹脂を使った Fig. 3 のようなリチウム回収プロセスを考え実験した。すると比重差でカラム内で樹脂が浮き上がってしまうほど高濃度のリン酸中からもきれいにリチウムが捕捉されカラム下からキレイなリン酸が流出してくるのである。リン酸の電離度を考えれば当然と今は思うが、同じ酸でありながら樹脂再生に使う塩酸や硫酸を越える濃度の液中の陽イオンを、ことごとく捕捉する現象には目を見張った。最近高純度リン酸が電子工業で用いられる様になり、その繰り返し再生使用に、私が体験したのと同様のプロセスが用いられているのを見ると、当時がなつかしく思い出される。

2 歯磨き用リン酸カルシウム

練り歯磨きの研磨基材として用いられるリン酸水素カルシウム二水和物 ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) は欧米で年間百万 t 規模の需要をもつ燐製品に成長しているが¹⁾、この誕生期

の1960年頃日本化学は、日本のトップランナーとして製造をはじめた。

1958年に発刊され、現在も燐関係者の間でバイブルとして愛読されている「Phosphorus and its compounds」(モンサント化学の無機化学研究部門の長であった Von Wazer 博士が編集、の二巻構成)を見ると「歯磨き基材用の $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ はリン酸に薄い消石灰スラリーをゆっくり添加してつくる。得られた結晶は遠心分離して乾燥後、安定剤を添加する。」とあり、巻にあげられた $\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 系の相図からもその合理性がうなずける。しかし、日本化学が独自に開発し確定した製法は①製品の白色度を上げる必要があった。②日本化学が開発した安定剤はスラリーの形態である。③製品粒度調整は湿式粉碎で行う。などの理由から、Fig. 4 のようなプロセスでのスタートとなった。

この時、私は亀戸工場の現場係員を命ぜられ、出来たばかりの新しい設備とこのプロセスで生産に従事することになった。

当初は生産量も順調にのび需要が30t/月を越えるに至って過乾燥設備をフィルタープレスからストリングフィルター、箱型乾燥機から通気式バンド乾燥機へと設備変更し能力を3倍に高めた。しかし、需要はさらに旺盛で生産規模を300t/月以上に上げる必要が出てきた。

そこで、反応を連続で行えばバッチ式反応に比べ人手

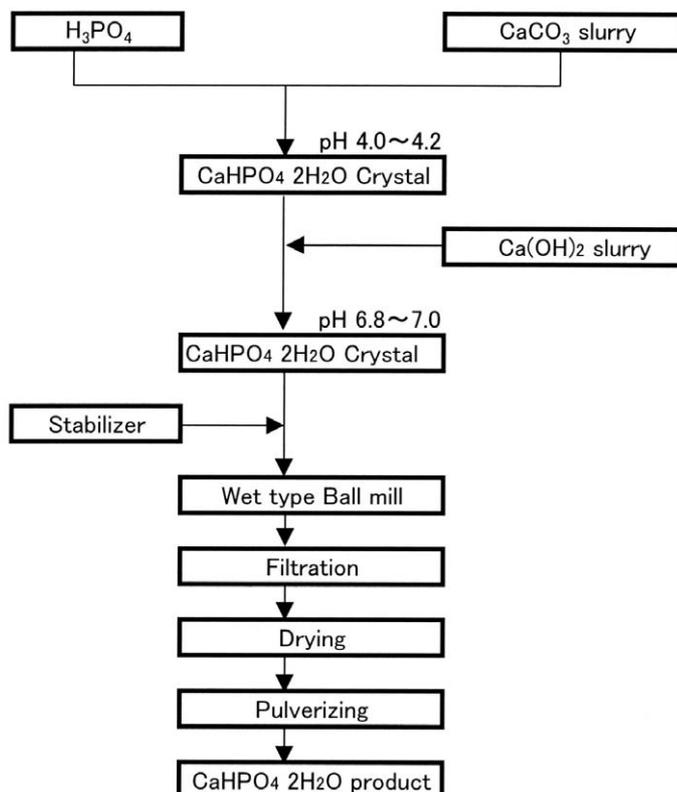


Fig. 4 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ manufacturing process.

も少なく設備も小さくてすむのではないかと云うことになり Fig. 5 の様な連続攪拌槽型反応器が検討される過以降の設備の大型化を含め能力増強投資が行われた。当時としては最新鋭の PID 自動制御による pH 制御が行われ

第一段攪拌槽で pH 3.8 ~ 4.0 , 第三段攪拌槽で pH 7.0 と中間の第二段攪拌槽による結晶熟成を含め全体の槽容積は 4000 L を切りコンパクトで人手いらずの良い設備と胸を張ったものである。

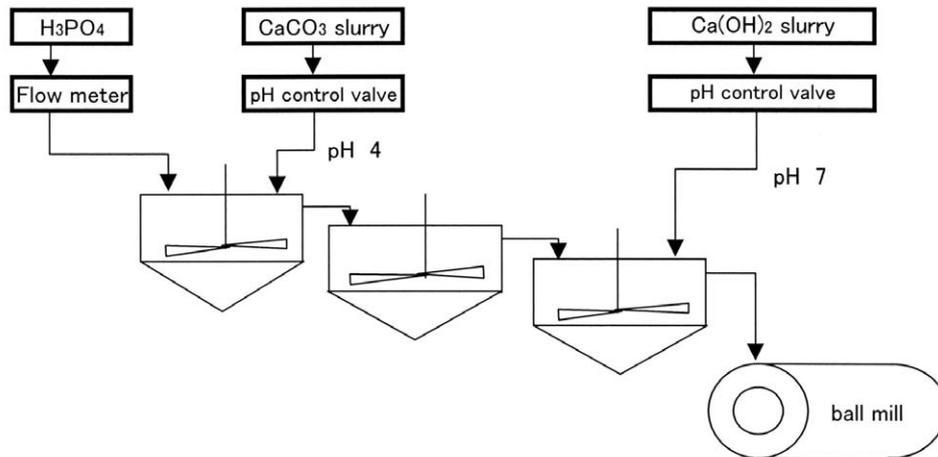


Fig. 5 Continuously stirring tank reactor.

相図上で見ても回分式反応は酸側から炭カルを溶解しつつ $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の析出域に近づいていくので、どうしても無水の CaHPO_4 析出域を若干通り、無水物の混入が避けられない。それに比べ連続反応では pH 制御で $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 析出域に系を常に保てるので無水物を含まない純度の高い $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を高い収率で得られる。このような目論見で実施に踏み切ったが実際に操業してみると種々の問題が出てきた。第一段攪拌槽で pH 3.8 ~ 4.0 に pH 制御してリン酸と炭カルスラリーを反応させると確かに純度の高い $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ が生成する。しかし、バッチでつくったものと結晶形が異なり六角板状の薄いヒラヒラした結晶で本来 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ がもつ六角柱状結晶にどうしてもならない。また、pH 計の故障などで目的の工程管理が行われなかった時に槽内の物を捨て水張状態から再スタートするが一定の結晶厚になるのに槽平均滞留時間の何倍もの時間を要し、その間の製品がすべて不良品となり出荷できなくなる、など当初の予測をはるかに越える問題があった。しかし、連続式は製品品質の安定という面では優れていた。バッチ式のように毎回ゼロからの出発でなく既存の結晶に新しい結晶が追加される工程なので、平均化され変動の少ない製品が得られた。これは小さなトラブルがあっても既存結晶が良ければ大きな悪化にはならないという、製造担当者としては工程管理のしやすいプロセスであった。

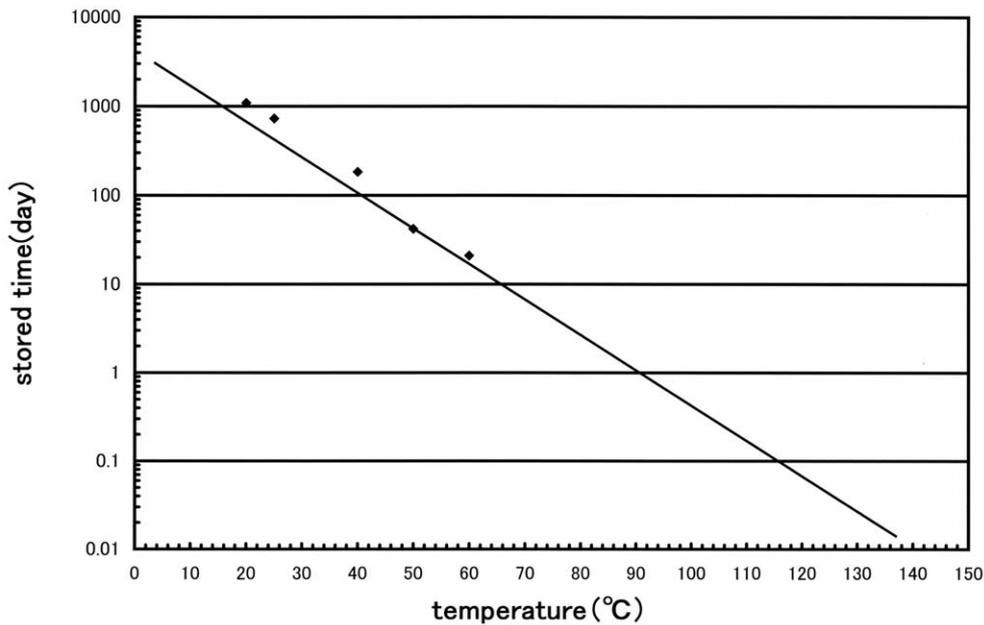
こうして月産 300 t 体制で製造を始めた約一年半後、需要家で練り歯磨きが店頭で固結しチューブから出ないというトラブルが発生した。歯磨き基材の $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ はグリセリンを主成分とする湿潤剤と混ぜて練り歯磨き

となるが結晶水が失われ無水化すると微粉化し大きな吸液量を持つようになり、グリセリンを強く吸液、固く凝結する性質がある。これを防ぐため歯磨き基材用 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ は安定剤と称せられているリン酸マグネシウムやピロリン酸塩が数 % 添加される。なぜこれらの安定剤があると $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の結晶水の脱離が防止できるのか、そのメカニズムは現在でも良くわかっていない。

この固化トラブルは連続式反応法、安定剤のリン酸マグネシウムの品質、工程管理の方法、製品検査方法など多くの原因が考えられたが製造時のデータで見ると限り明らかな異常は認められなかった。勿論、トラブルの原因がこちらの原料ではなく需要家のミスによることも考えられるが、現実には厳しく即出荷停止となり数百 t の製品が不良在庫に変わり倉庫は不良品の山、工場は原因が判明するまで操業停止という状況になった。

歯磨き製品は需要家から出荷され市場に出ると長いもので 5 年、平均すると 1 ~ 2 年店頭にある。この間に固化や固液分離(チューブの中で透明な液とゲル状の半固体に分離する現象)が起こるとクレームとなり回収対象となる。同じ製造ロットであっても全てが固まるわけではなく店頭での保存状態によっては固化しない場合もある。

この様に、将来起こるかもしれない不良を見分け良品を作り出すための品質管理は予測技術が重要だが当時は簡単な加熱促進試験(グリセリンと歯磨き基材の $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を等量混合し 60 分間煮沸した後、無水化程度を X 線回折により $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ と CaHPO_4 の回折線高比で判定)しか持っておらず需要家の配合も秘密で明らかにしてもらえない状況だったので、トラブルの予測



Temperature ()	20	25	40	50	60
Stored time (day)	1095	730	183	42	21

Fig. 6 Relation of temperature and stored time.

は不可能に近かった。

製品寿命を推定する手段として、加熱し劣化を早めて寿命を推定する方法が、一般的には行われている。化粧品業界は3年間の品質保証を行うのが常となっているが、これを保障するための促進試験として、下表の方法が行われているという。

加熱温度	加熱時間	備考
40	6ヶ月	化粧品業界の長期保存テスト
60	3週間	同上の現場管理用短期保存テスト
50	6週間	室温(25)2年間保存に相当するという経験則

これを温度を横軸、加熱時間を縦軸に対数目盛でプロットして見ると、直線に乗ってくる。(Fig. 6)この線上で当時行っていた煮沸試験(100)の所要加熱時間を見ると12時間となり60分間では短すぎると判定される。試験条件をこの線上で決めるとすれば95 で24時間が適当であったと思われる。

この条件でテストを行っていたら、トラブルが防げたかどうか疑問だが、当時、この視点がなかったことが悔やまれる。

安定剤として使用される磷酸マグネシウムには3水塩、8水塩、22水塩があり、現在までに発表されている文献では8水塩が良いと言われているが日本化学は酸化マグネシウムとリン酸を反応させたスラリー状のリン酸マグネシウムを使っており $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ と湿式で混合してしま

っているため、製品中でどのような形態になっているのか判らなかつた。また、歯磨き基材として連続法の結晶が回分法の結晶に比べ劣るのかどうか、かなりの検討が研究陣により行われたが結論は出なかつた。おそらく大差はないのであろう。

しかし、 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の結晶構造は $\text{Ca} - \text{PO}_4$ 網面と H_2O 網面がサンドイッチの様に積みあがった構造となっており、六角板状品は、このサンドイッチの厚さが薄い場合、六角柱状品は厚い場合に相当するので、 H_2O が脱離して無水化する現象が起こりやすいとも推考できる。

現場係員として、この時ほど評価技術の重要性を痛感したことはない。こういうものを作れば絶対間違いないという評価技術を、理論的であれ実験的であれ見出したという思いは切であったが、需要家の歯磨き配合や店頭での保存状態の不確定性という条件に阻まれ最後は敗退ということになった。

どの倉庫に行っても燐カル不良品の山。フル生産から一夜にしてゼロ生産という落差。職場を失い配転先で苦勞している仲間の顔。これらのつらい思い出はいろいろなことを教えてくれたが、一番大きな教訓はプロセス設計の重要性(一度作ったプロセスは手直し程度しか変更は出来ない。設備投資前の検討はやりすぎるといいことはない。)ということであった。

この様な事故発生、操業停止、原因究明、操業再開というサイクルを二回繰り返した時点で需要家から見放され、日本化学の歯磨き用リン酸カルシウム生産は海外から技術導入し新たに業界に参入した他社に取って代られた。

3 アパタイトのモル比

ハイドロオキシアパタイト(以下HAP)は $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \cdot (\text{OH})_2$ の分子組成で知られておりCa/Pのモル比は1.666である。しかし、これを各種のカルシウム塩、リン酸塩を用いて水溶液反応で生成させると原料の固体、液体を問わず種々のモル比のHAPが生成する。しかし、X線回折像はほとんど同形であるので結晶構造は変わっていないと判断できる。

私がHAPの製造を亀戸工場で行った1968年頃には何故HAPが多様なモル比を示すのか定説はなかった。その頃の文献に提示されている学説を見ると①表面構造変化説(生成したHAP表面のCaや PO_4 が液中の $\text{Ca}^{2+}\text{PO}_4^{3-}$ によって置換され組換えが起こるといって長時間HAPを液中に浸漬するとモル比が変わる現象を根拠とする。)②炭カル混在説(Caが空気中の CO_2 を吸収し CaCO_3 となりHAP中に混ざる。)③イオン吸着説(HAPは細かい粒子なので比表面積が $50 \sim 100 \text{m}^2/\text{g}$ と大きい。この広い表面に Ca^{2+} や OH^- が吸着されモル比を変化させる。)④リン酸水素カルシウム混在説(X線回折で検知されないアモルファスリン酸カルシウムの存在が知られるようになっており、これがHAP中に混ざりモル比を変えるのではないかと、という説。)などさまざまで、その頃の文献はほとんどこの議論に関与して発表されている状況であった。

アパタイトの語源は「惑わすもの」からきているそうであるが、このわけのわからないつかみ所のないものに対する学者の興味は、人工骨ブームの到来と共に実利をめざす企業をも巻きこんでさらに盛んになっていった。

それは骨が理論組成1.66に非常に近いモル比を持っていたからで、生体組織への適合性や骨と同じ様な強度を狙うためにはどうしても通らなければならない道であったからであろう。

この問題は精密な結晶構造解析により明らかにされた。まず1.66以下のCaの少ないHAPはCa原子の欠陥によるものであった。HAPの結晶構造は三次元的に組みあがった堅牢な構造をもっており内部にはトンネル状の空間がありその中をいろいろなイオンが自由に動くことが出来る。その構造ゆえに一部のイオンが抜け落ちて結晶が壊れてしまうことはない。

HAPの生成領域に近接したアモルファスリン酸カルシウム生成域から成長するものがこの構造をつくりやすいとされる。

一方、1.66以上のHAPは当社のスーパタイトもその分類に属するが何故生ずるのであるのか。この答えも結晶構造解析が明らかにしてくれた。それは液中の炭酸イオンによる炭酸アパタイトの混入である。混入炭酸アパ

タイトは $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{CO}_3)_x(\text{OH})_2$ の形で PO_4 の位置に置換して入り結晶を作る。それまで炭酸アパタイトは $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \cdot (\text{OH})_2$ のOHのところ置換されるものと考えられており、構造解析が明らかにするまで PO_4 置換の CO_3 があることが判らなかつた。この構造体は微細な結晶となりやすく、大きな単結晶試料を作ることが難しかったために構造説明が遅れたようである。

4 赤 燐

赤燐は少量の添加で樹脂などを難燃化する優れた性質を持っているが樹脂練り込み時の高温下では有毒なホスフィンガスを赤燐1gあたり $300 \mu\text{g}$ 、多いときには $500 \mu\text{g}$ も発生する。これは作業環境を悪化させるばかりか発火などを起こし安全を脅かすので問題である。

常温下でも赤燐は空気中の水蒸気及び酸素と徐々に反応しホスフィンと各種の酸素酸を生ずるがその詳しいメカニズムはよく判っていない。

この反応抑制技術の主流となっているのは、赤燐表面をフェノール樹脂などの有機物や、金属水酸化物などの無機物で被覆し、ホスフィン発生の原因となる水との接触を絶つ方法である。しかし完全な遮蔽は難しく特に高温に耐える強い被覆は今のところ見出されていない。

日本化学は水酸化アルミニウム被覆品、水酸化チタン被覆品を上市しているが、その開発研究当時、被覆断面を透過型電顕(TEM)で観察したことがある。すると非常に薄い厚さの均一な皮膜が赤燐表面にきれいに形成されており、その上に塊状ブロック、団子状など不定形の大きな水酸化物の凹凸が不規則に並んでいる。これで見ると、表面被覆はもっと少量の水酸化物で充分なのではないか、と思われるが実用的には数%の添加を必要とする。何故なのだろうか。これに対する答えを与えてくれたのは赤燐のシリカ被覆であった。赤燐をシリカで被覆すると、チタンやアルミ以上に均一で厚い、きれいな被覆が形成されるのが走査型電顕(SEM)で容易に観察できる。ところがこれを数日放置した後、SEMで見ると驚いた。数日前、ガラス細工のように透明に赤燐を覆っていた膜はイボ蛙の肌のように点々と膨れ、ところ所破れて気持ちの悪い皮膚病を見るようになっていたのではないかと。強固に見えたガラス膜も酸素や水の完全遮蔽は出来ず、一連の反応が起こり、生じた酸が行き場を失い水泡状に突出してきたのだ。

チタンやアルミの被覆では生じた酸はリン酸チタンやリン酸アルミなどになって捕捉されるので水ぶくれは生じない。この理由から数%の水酸化物被覆は不可欠ということになる。

赤燐難燃剤は、樹脂に添加する際、多量の水酸化アルミとともに使用されることが多いが被覆で完全に断切れない反応の尻拭いを、これら水酸化アルミがやっているのだと思うと面白い。赤燐表面を覆う均一な薄い被膜の効果はどれくらいあるのだろうか。それを知るには被膜を破ってみれば良い。

Table 1 Effect of grinding on PH₃ generated.

Grinding time (sec)	0	30	120
incidence of PH ₃ (μg/g)	15	20.4	143.9

Table 1 は水酸化アルミ被覆した赤燐を乳鉢に入れ、軽く粉砕し被膜効果が減少するさまを加熱時(160℃)のホスフィン発生量で見た結果である。被覆が破れてしまうと被膜のホスフィン抑止力は急激に失われてしまうことが良くわかる。無機、有機いずれの被覆を用いるにしても、破れにくい物で均一に覆うということが、常識的ではあるが、今後も赤燐難燃剤の技術ターゲットであり続けるだろうと私は思う。

現在、難燃剤の主流はハロゲン系であり、その量は年間5万tを越えている。それに比べ、赤燐の使用量はその1%にも満たない。しかし、ダイオキシンなどの発生が本質的にない赤燐は、公害予防の観点で必ず見直される時がくると信じている。

5 黄燐電炉

「黒く異様な塔は静寂の闇に沈み、時折雲間からさす月光のなかに浮かび上がってくる。廃墟となった工場のなかを吹き抜ける冷たい北風の音はまるですすり泣くよ

うに聞こえる。…」これは、かつて最高の技術と規模を誇ったA & W社のニューファンドランド島黄燐プラントが閉鎖された後の様子を、プラント建設から操業まで、技術の第一線で活躍した当時の技師長が知人である郡山工場長に伝えてきた手紙の一節である(郡山工場は現在の福島第一工場)。韻をふんだ格調高い詩のような英文で、原文は覚えていないが悲哀に満ちた情景が目に見えるようで、この手紙を工場長から見せてもらった時の栄枯盛衰への思いは今も忘れられない。当時、郡山工場は副生する燐スラグの販売が順調で細々ではあるが黄燐の生産は続いていた。

現在、先進工業国の電気炉による黄燐製造はほとんど行われなくなり、世界の生産拠点は中国などリン鉱石と電力の入手が容易な工場に移ってしまった。

かつての製燐電炉を中心とする黄燐製造技術を知る人は日本化学内でも少なくなった。しかし、燐化合物から炭素還元で元素燐を作る方法は燐を夾雑物から分離する方法としては非常に優れている。現在、燐は世界中から算出されるリン鉱石が供給源であるがその採掘量は年間16000万tで現状と同じ採掘が行われていくとすると、推定の仕方にもよるが、今世紀末にはかなり深刻な状況になると推定されている²⁾。この代替資源として動物の骨が上げられているがコラーゲンなどの有機物を燃やした後のCaは意外と少なく量的に需要を満たせるかどうか疑問がある。動物は燐を骨などの形で濃縮する能力をもつが同じ生物である微生物も同様である。この微生物からの燐として注目されているのが都市下水の汚泥である。現在は焼却後、埋め立て処分されているがその中には、かなりの量の燐を含んでいる。人間は1人、1日、1.2gの燐を排泄すると云われており都市下水は将来大きな燐の供給源となる可能性をもっている。

Table 2 Chemical composition for ash and rock (wt%).

	P ₂ O ₅	CaO+MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Sewage sludge ash	21.9	8.6	49.8	12.4	3.8
Phosphate rock	31.3	47.4	9.1	0.9	1.4

Table 2はその代表的組成である。リン鉱石ほどの燐含量はないがかなり高い含量であり、その発生量の大きさから考えて将来、燐資源の一つになる可能性がある。(100万人あたり年間440tの燐を排出、全国では年間約5万tの燐が下水汚泥中に濃縮廃棄されている)また、燐を高濃度に濃縮する微生物の研究が進められており今後、

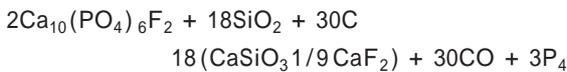
遺伝子工学の応用でリン鉱石を上回る燐含量の下水汚泥焼却灰が出来る可能性は大きい。

この様な状況下、一昨年、NKKと共同研究で、焼却灰を炭素還元し燐が発生するかどうか実験してみた。結果はTable 3の通りである。

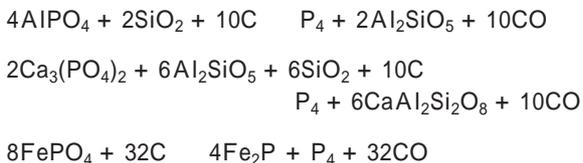
Table 3 Experimental result of yellow phosphorus production from sewage sludge.

Electric furnace	32 kW
Recovery of phosphorus	86%
Quality of recovered yellow phosphorus	
Phosphorus (wt%)	99.94%
Benzene insoluble (wt%)	0.06
Acid insoluble (wt%)	0.01
SiO ₂ (mg/kg)	< 10
Cd (mg/kg)	< 10
Pb (mg/kg)	< 10

リン鉱石は



の反応で還元され、どこの産地のリン鉱石であっても大きな差は出ない。しかし、下水汚泥の組成は、都市にどのような産業があるか。生活の状況はどうか。などによって大幅に変わるので灰の組成も化合物形態も変動が著しい。うまく燐が分離できるのかどうか疑問だったが予想以上の収率でリンが得られ炭素還元法の優位性を体感した。反応式は下記のように推定している。



焼却灰は SiO₂ を多く含むのでカーボン添加だけで還元できる。しかし、リン鉱石と異なり微粉なので、粒状として炉に仕込む従来の製燐技術の延長線上で考えるのは問題がある。NKK では巡回溶融炉で溶融する技術を確立しているが、この方式を使って溶融物から燐を取り出すことが出来れば実用化への道が開けるかもしれない。

6 燐にひかれて

燐にひかれて仕事をやってきたというと、燐の魅力にとりつかれ「燐に惹かれて」いるアクティブなイメージがあるが、振り返ってみると実際は「燐に曳かれて」で

与えられた職場で、その場あたりの解決を、将来への展望もなく繰り返してきただけにすぎなかったような気がする。

しかし、日本化学の製品群の中に燐がある限り、好むと好まざるにかかわらず、私の様に「燐に曳かれる」技術者はなくならないだろう。

後に続く諸兄に参考になるかどうか分からないが、私の経験では燐関係の技術的な問題(特に既存製品関連)は以下に挙げる成書の内容でほとんどが処理できた。

- ① J. R. Van. Wazer, "Phosphorus and its Compound", Interscience (1958-61)
- ② Kirk-Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology", John Wiley & Sons
- ③ J. J. Mcketta ed, "Encyclopedia of Chemical Processing and Design", Marcel Dekker
- ④ Tennessee Valley Authority, "Chemical Engineering Report"

特に②③は絶えず改訂されており、内容が新しくなっていくので旧版も含めて読めば、過去から現在までの技術の概要を容易に知ることが出来る。①は前述したように私にとってはバイブルで、燐の本質を良く知っている人の書いた本という感が読むたびにする。40年も前の本なので現在の知見に及ばない記述もあるが、判らない事、あいまいな事ははっきりとわからないと書いてあり、推論する場合も数多くの考えを挙げ断定を避けるなど、科学者らしい表現となっているので、この本を読むことにより判断を誤ることは、今後もないだろうと思っている。④は日本化学の燐の諸先輩が、設備設計の基礎にしたと思われる報告書で、現有設備のなかに、この本の内容が盛り込まれているのが良くわかり、興味深い。

燐に関する読み物的な投稿をとの依頼を受け、燐の諸先輩を差し置いて思い出すままに勝手な雑談を書いてしまった。最後に、燐のトップランナーとして日本化学が走り続けるために「燐に惹かれる」技術者が、絶えることなく現れることを祈りたい。

文 献

- 1) R. Thompson "Industrial Inorganic Chemicals: Production and Uses", The Royal Society of Chemistry(1995) p. 2.
- 2) 藤原彰夫, 岸本菊夫 "燐と植物()燐の工学と工業技術", 博友社(1988) p. 18.



著 者

氏名 田部井 清吉

Seikichi Tabei

元取締役 研究開発副本部長