

# アルミニウム



A380 © Airbus

追い風に乗れ!

## 航空機とアルミニウム

- ▶ リチウムイオン電池
- ▶ 地球温暖化対策への取り組み
- ▶ きらめく神秘の色彩 夏の宝石、秋の宝石

164

2006.7  
日本アルミニウム協会

景気回復やアジア地域の経済成長を背景に増加する海外旅客数。これを受けて新しい航空機が次々と生まれています。活気づく航空機産業を支えるアルミニウムを紹介します。

# 大空へつぎつぎ飛び立つ 新しい航空機

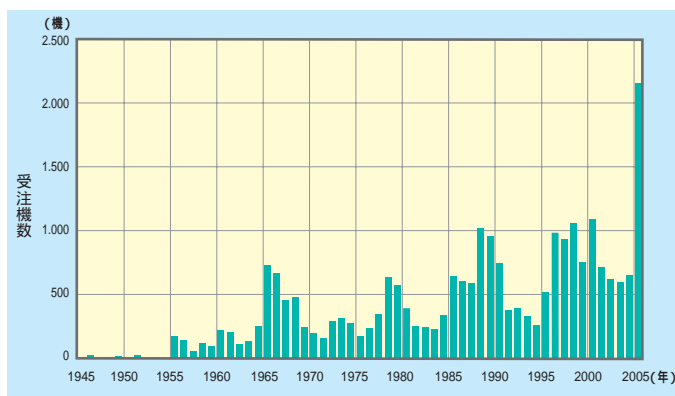
## 活気づく航空機産業

今年のゴールデンウィーク期間中、成田空港での出入国者数は約73万人に達し、過去最高を記録しました。2001年に発生した米国同時多発テロ等の影響を受けて海外旅客数は低迷していましたが、景気の回復やアジアをはじめとした飛躍的な経済成長を背景に、旅客数は回復を見せています。

これを受けて民間航空機の需要が高まっています。二大航空機メーカーである米国ボーイング社と欧州エアバス社の2005年の受注機数(座席100席以上、貨物機含む)の合計は2,140機に達し、これまでのピークである米国同時多発テロ事件前の約1,200機をはるかに超える受注増となっています。さらに現在運航しているジェット機の半数以上が今後20年以内に退役を迎える予定で、代替需要も大きくなっています。また大型機だけでなく中小型機の需要も伸び、航空機産業は活気づいています。

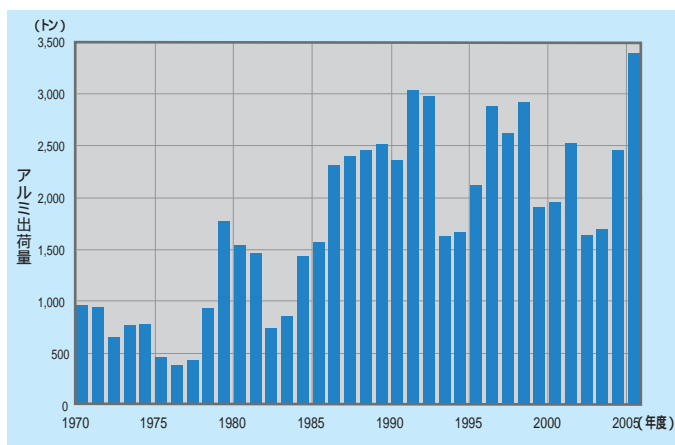
旺盛な航空機需要から、新しい民間航空機が積極的に製造されています。新型機の開発も進み、ボーイング社は中型機B787を、エアバス社は総2階建の超大型機A380を開発しています。新型機では複合材が新たに採用される予定で、B787はCFRP(炭素繊維強化プラスチック)を、A380は胴体の一部に新開発のアルミニウム箔とガラス繊維布を接着した強化積層板を使用します。とはいえA380の構成材料のうち、最も多くを占めるのはアルミニウムです。軽量で高強度なアルミニウムは航空機に多用されています。

世界の民間ジェット輸送機の受注機数の推移



((財)日本航空機開発協会資料より作成)

国内の航空機向けアルミ出荷量の推移



((社)日本アルミニウム協会資料より作成)



©日本エアコミューター

現在、『あかとう日本の翼YS-11』キャンペーンが実施されている。

## ラストフライトへ。日本の名機YS-11

国産旅客機YS-11が、2006年9月末で退役を迎えることとなりました。YS-11は日本が開発した小型旅客機で、1962年(昭和37年)に初飛行。当時としては、離着陸性能と旅客搭乗数が同クラスの外国機に比べて優れ、日本の航空機技術の高さを知らしめました。

YS-11の開発は、第二次世界大戦後、米国による航空禁止が解除されるに伴い、戦前の航空業界を支えた技術者が集まり行われました。機体はアルミ合金を採用

し、頑丈に作り上げられました。40年経った今でも現役であることが、その耐久性を物語っています。総生産数は決して多くはありませんが、日本の名機として名を残すにふさわしい優れた航空機です。

現在、特別塗装機が運航するなどYS-11の退役キャンペーンが行われ、多くの航空機ファンが詰めかけています(9/30まで)。



アルミニウムパネルが使用された旅客ターミナル・神戸空港駅舎通路部屋根(底部分)



新北九州空港のオープンにあわせ新規参入したスターフライヤー。黒を多用した外装や全席本革張りの内装など、斬新なデザインが印象的。機体はエアバス社のA320を採用。構造材のほとんどにアルミニウムが使用されている。



## 信頼性の高い 航空機部品を支えるアルミニウム

アルミニウムは、現在、運航している民間航空機の主要構造材料として活躍しています。例えばボーイング社B747では約81%、B777では約70%アルミニウムが占め、高い比率で使用されています。胴体や翼の外板などの機体構造材(板材)をはじめとして、桁、ホイールや窓枠(鍛造品)、ドアヒンジ、各種精密部品(鋳造品)などに使用されています。これらの航空機部品は安全性を確保するため、高い信頼性が要求されます。そのため非常に優れた強度を持つ2000系合金(Al-Cu-Mg系合金)や7000系合金(Al-Zn-Mg系合金)などの高強度アルミ合金が使用されています。

とくに機体構造材は高い疲労強度と靱性が重要となります。例えば胴体は飛行中に客室内が地上の気圧に近くなるよう加圧されるため、客室内と外気圧との差によって生じる荷重や、離着陸や旋回などによる曲げやねじりによって生じる荷重を繰り返し受けます。そのためとくに疲労強度が求められる部位には、高強度アルミ合金のなかでも疲労強度に優れた2000系合金が選ばれ使用されています。また、耐食性に優れていることも求められます。高強度アルミ合金は非常に優れた強度を持つものの耐食性に劣るため、耐食性の高い純アルミニウムを熱間圧着したクラッド材が胴体の外板に使用されています。

アルミ材料メーカーでは、材料技術や製造技術を駆使して航空機メーカーからの厳しい要求に対応しています。例えば鍛造品であればその凹凸部それぞれに加わる応力を考慮し、金属組織の流れを最適化することで性能向上を図っています。またその性能を安定して生産する製造技術の向上も進められています。

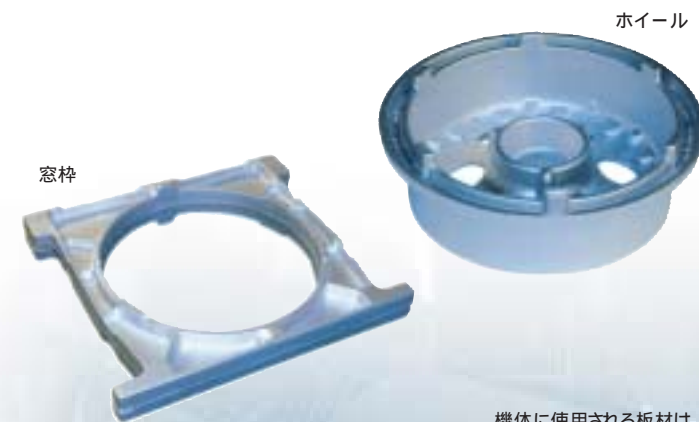
## 空がもっと便利に。新空港ぞくぞくオープン

国内の新空港のオープンが相次いでいます。2006年2月に神戸空港、3月に新北九州空港が開港。さらには6月に成田空港の第1ターミナルがリニューアルオープンし、空の移動がますます便利になりそうです。

2月に開港した神戸空港は、利便性を追求し、出発ロビーのあるフロアが新交通(ポートライナー)に直結。搭乗までのアクセス時間が短いのが特徴です。ターミナルビルは開放的な作りとなっており、一部の屋根には意匠性の高いアルミニウムパネルが採用されるなど、オールアルミ製車両のポートライナーとともに新空港を彩っています。

神戸空港に続いてオープンした新北九州空港は、とくにその運用時間の長さ(5時~翌2時(21時間)、8/22より24時間化)が特徴で、この空港のオープンにあわせ新規参入したエアライン「スターフライヤー」は、羽田~北九州間を早朝から深夜まで運航します。またスターフライヤーの機体は、黒を多用した斬新なデザインで話題となっています。機体構造材にはアルミ合金を使用。この他にもコンテナや昇降機、輸送機器など、空港にはさまざまなアルミ製品が使用されており、新しい空の旅を支えています。

最近ではA7075合金を改良した新合金が採用されたり、また第三世代合金として実用化が期待されているアルミ-リチウム合金が新型機の材料として検討されるなど、新しいアルミ材料も積極的に導入されています。高度材料技術により性能を向上させたアルミニウムが信頼性の高い航空機部品を支えているのです。



機体に使われる板材は、高度な製造技術が要求される。



アルミニウムは、航空機の機体や装備の主要材料として幅広く使用されています。アルミ材料がどのように加工され、航空機が製造されていくのか、具体的な機体の製造工程をみてみましょう。

# 大型旅客機B777の機体を形作る鏡のようなアルミ板

## B777の機体製造に日本企業も参加

現在、世界で運行されている旅客機（民間ジェット旅客機）は約14,600機に及んでおり、運行距離や路線に応じて特徴ある旅客機が採用されています。そのうちボーイング社のB777は、中・長距離用として日本をはじめ世界の空で活躍する代表的な航空機の1つです。

B777は、ボーイング社の「ワーキング・トゥギャザー」という思想のもとに、国際共同作業で開発・製造されています。日本では（財）日本航空機開発協会が主体となり機体メーカー5社が共同開発・製造パートナーとして参画しており、機体の約21%を日本企業が担当しています。

航空機（ジェット旅客機）の部品数は、全部で400万個を超えるといわれていますが、そのうちの多くにアルミニウムが使用されています。B777の製造工程でどのようにアルミニウムが使用されているのか、機体製造を行っている川崎重工業（株）岐阜工場、名古屋第一工場の様子をご紹介します。

## 機体に使用される大型ポリッシュドスキンパネル

B777の機体は、曲面に曲げられた大きなアルミ板を、胴体の形に組み立てて作られます。この工場では機体の前胴部などを製造していますが、これには上下各3枚、左右各2枚の合計10枚のアルミ板が使用され、胴体一周分（約19m）となります。1枚のアルミ板は長さ約10m、幅約2mで、「ポリッシュドスキン」仕上げと呼ばれる表面研磨が施されています。使用されるアルミ合金は、2000系合金（Al-Cu-Mg系合金）や7000系合金（Al-Zn-Mg系合金）などの高強度合金が代表的です。

アルミメーカーから納められたアルミ板は、最初に窓の加工や切削などの機械加工が施され、次にプレス機で曲げ加工されます。その後、アルミ板表面に黄緑色の仮保護塗装が施されます。

機体の組み立てには、リベット接合という方法が用いられます。これは接合する箇所にあらかじめ穴を開けておき、ここにリベットと呼ばれる釘を打って接合する方法です。航空機製造では一般的に行われている方法であり、アルミ板の内側に補強材、組み立て部品を取り付けたり、アルミ板同士を接合して大きなパネルを作ったりする工程でリベット接合が行われます。

まず、ドリルを使って接合箇所に穴を開けていきます。

## 機体材料の7割を占めるアルミニウム

機体メーカーのご担当者に、機体に使用されるアルミ材料についてうかがいました。

旅客機の機体にはどのようなアルミ材料が使用されているのですか。

胴体の主な材料はA2024合金やA7075合金などのアルミ板材です。A2024合金は靱性（ねばり強さ）や疲労特性（繰り返しの荷重に耐える強さ）にすぐれているので、主翼下面の外板や胴体の外板に使用します。またA7075合金は非常に強度が高い反面、疲労特性はやや低いので、疲労特性が比較的重要でない主翼上面の外板やストリンガー（補強材）などに使用します。B777の場合、機体におけるアルミ材料の使用比率は70%程度となっています。

航空機の材料にアルミニウムが使用されるのはどのような理由からでしょうか。

最大の理由は軽量なことですが、また胴体の曲面の成形やポリッシュドスキンなど表面の加工がしやすいことなどもメリットとして挙げられるでしょう。

現在航空機メーカーが開発している次世代旅客機では、樹脂系の複合材の比率が高まるといわれていますが、

アルミ合金の比強度（単位密度あたりの強度）が2.2なのに対し、先進複合材料のCFRP（炭素繊維強化プラスチック）は8.7であるため、CFRPの適用が拡大しており、B787では構造体重量の50%に達しています。しかしCFRPには加工が困難、衝撃による損傷を受けやすいなどの欠点があります。一方アルミ合金は、使いやすさ、リサイクル性がよい、などの長所があります。そこで今後は、アルミ合金とCFRPの特徴を生かし、適材適所で使い分けていくことになると思います。



アルミ板は表面が磨き上げられ、ポリッシュドスキンと呼ばれる。

アルミ板は熱によって膨張する性質があり、たとえば10℃の温度変化によってアルミ板は10mの板で約2mm伸縮するといえます。そのため、穴開けを行うドリルには、温度変化を感知して穴開け箇所の位置を調整するという温度補正機能が備わっています。リベット打ちでは全自動リベット装置が使用されています。この作業中に騒音はほとんどなく、「リベットを打つ」という言葉のイメージとは異なっているのが印象的でした。

穴開け、リベット打ちの工程の間では、アルミ板の移動には、天井に取り付けられたモノレールが使用されています。天井からアルミ板を吊るして移動するため、少ない人数でも材料を傷つけるおそれがないということです。



胴体パネルの内側。窓枠もリベットで接合されている。

完成した胴体パネルは、専用車に積み込まれ、次の組立工場に運ばれていく。

## 日本からアメリカへ、そして世界の空へ

すべての接合工程が終わり、塗装、乾燥、検査などを終えた後、胴体パネルは専用コンテナに積み込まれ、ボーイング社の工場（アメリカ）に運ばれます。この工場には、世界中の協力会社で製造された機体の各部が集められ、結合されて1つの機体が完成します。

ここでは、毎月数機が完成していきませんが、高まる需要に対応し、今後さらに生産性の向上が図られていくそうです。

一般に旅客機の寿命は25年程度といわれます。高度な要求特性に応える多くのアルミ製パーツが、世界に信頼される高い品質を支えています。

[取材協力、写真提供]ボーイングジャパン社、川崎重工業（株）



2枚あるいは3枚の胴体パネルを組み合せ、より大きなパネルにする。

## ボーイング777

全長63.7m、標準仕様（B777-200）では座席数305～375。ジャンボ機（B747、全長70.7m）より小さいが、双発機（2基のエンジンを持つ）としては世界最大で、従来より早く上昇し、より高い高度を巡航できるなどの特徴がある。設計時（1990年代はじめ）に、世界で初めて三次元CADソフトのCATIAを採用した。初フライトは1995年。

ヒーティングカートなどが収納されたギャレーでは、すばやく移動できるような工夫がなされている。



快適で機能的なラバトリーには、フレーム部にアルミ押出型材などが使用されている。

## 客室内でも使用されるアルミ製品

旅客機では、客室内の設備にもアルミニウムが使用されています。たとえば、ギャレー（厨房設備）内のキッチンカウンターパネルには、十分な強度や耐久性が求められ、軽量で丈夫なアルミハニカムが使用されています。このほか、ドア回りやヒンジなどの各種金具や、熱交換器、ファン、コンプレッサなどにもアルミニウムが使用されています。



# 携帯電話の進化を支える リチウムイオン電池

テレビ(地上デジタル放送「ワンセグ」対応)音楽、映像、インターネットなど、多機能化が進む携帯電話には高容量のリチウムイオン電池が使用されている。

## モバイル機器に欠かせない リチウムイオン電池

携帯電話やノートパソコン、デジタルカメラなど、最近では小型で高性能なモバイル機器が次々と登場しています。そんなモバイル機器のバッテリーとして活躍しているのがリチウムイオン電池です。リチウムイオン電池は正極にコバルト酸リチウム、負極にカーボン、電解質に有機電解液などを用いた二次電池で、エネルギー密度\*1が高いのが最大の長特です。エネルギー密度が高いため、電池の大幅な小型・軽量化を図ることができ、例えば従来の二次電池の約半分の重さで同じ電力容量を得ることが可能となります。高エネルギー密度に比べて高電圧、メモリ効果\*2がないなどの特性もあり、このような特性からリチウムイオン電池はモバイル機器に瞬く間に普及しました。1990年代初頭に登場してからおよそ10年でモバイル機器用バッテリーの主役となり、今日では国内電池総生産額の50%以上を占めるほどに成長しています。なかでも小型・軽量化が重要視される携帯電話に、リチウムイオン電池は欠かせない存在となっています。



リチウムイオン電池用アルミ製ケース

\*1 エネルギー密度:単位重量、単位体積あたりの電力容量。

\*2 メモリ効果:電池を使い切らずに充電を繰り返すことによって容量が下がったり、放電電圧が低下する現象。

## 携帯電話の小型・軽量化に貢献する アルミ製電池ケース

そもそもリチウムイオン電池が携帯電話用バッテリーとして脚光を浴びたのは1996年。当時、重量150~200gの携帯電話が主流のなか、100gを下回る携帯電話が登場し、大きな話題となりました。この携帯電話に搭載された角形リチウムイオン電池のケースには、アルミニウムが使用されていました。従来の電池ケースはスチール製が一般的でしたが、軽量のアルミニウムを採用することによりケースで約60%、電池全体で約30%軽量化し、製品の軽量化に大きく貢献しました。その軽さから、現在では携帯電話用電池ケースのほとんどがアルミ製となっています。

携帯電話用の角形電池ケースは、深絞り加工で成形されます。深絞り加工とは、一枚の金属板を限界までプレスし、破断させることなく薄く深い形状に成形する方法で、溶接による継ぎ目のない、強度の高い製品に仕上げることができます。そのためケースに使用されるアルミ板材は高い成形性が求められます。さらにケースのフタはレーザー溶接によって封止されるため、溶接割れなどが発生しない優れた溶接性も必要になります。また、電池の高容量化が進み、これに伴いケースにかかる内圧が上昇し、強度も重要となっています。しかし求められる成形性と強度の両立は難しく、添加元素の最適化や結晶粒径制御、圧延の温度制御などを行い、高いレベルで相反する特性を両立したリチウムイオン電池ケース用アルミ板材が開発されています。

最近では、中国やインド、ブラジルなどをはじめとして世界の携帯電話市場が大きく拡大しています。現在、日本製リチウムイオン電池は海外へ多く輸出され、世界のトップシェアを誇っています。日本製リチウムイオン電池の優れた性能は、ケースの特性が大きな要素の一つとなっており、機能性の高いアルミ板材により高精度な電池ケースが製造されています。

取材協力:三洋電機(株)、日本軽金属(株)

# 地球温暖化対策への取り組み

いっそうの温室効果ガス排出削減を目指して

地球環境問題への取り組みは、産業界での大きなテーマとなっています。現在日本の温室効果ガス総排出量は約13億トン(CO<sub>2</sub>換算)ですが、このうち工場など産業部門からの排出量は4億7,800万トンで、全体の3分の1を占めています。

アルミニウム業界でも、さまざまな角度から地球環境問題への取り組みを進めていますが、一例として日本経団連の環境自主行動計画への参加があります。この計画の中で日本アルミニウム協会では、地球温暖化対策(温室効果ガス排出量削減)、廃棄物対策、ISO14001への取り組みを進めてきました。このうち温室効果ガス対策としてはエネルギー原単位で「基準年(1995年度)を1として2010年度に0.9」を目標として、省エネルギー設備への改善などを実施してきた結果、2004年度0.86とすでに目標を達成しました(アルミ圧延6社対象)。CO<sub>2</sub>排出量は166万トンで、これは日本全体の排出量の約0.12%にあたります。今後もさらに高い目標に向け取り組みを続けていく予定です。

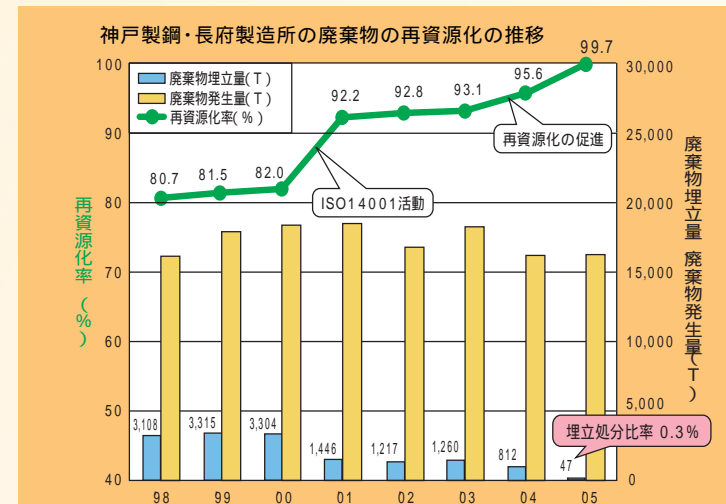
日本アルミニウム協会の環境対策については、日本アルミニウム協会ホームページを参照ください。http://www.aluminum.or.jp

## アルミ製造の現場で取り組む廃棄物対策

地球環境対策への取り組みとして、アルミ圧延業で初めて2005年度ゼロエミッションを達成した(株)神戸製鋼所・長府製造所(山口)の例をご紹介します。

この工場は、アルミ押出製品や銅合金圧延材を製造しており、2004年度以降はとくに廃棄物の再資源化の促進に重点をおいた活動を進めてきました。まず廃棄物の見直しや分析を行いました。どのような種類の廃棄物が、工場内のどこで発生したのか、処理業者に依頼したら再資源化してくれるのか、などの観点から、工場内で発生する200種類以上の廃棄物を分類し直しました。また従来は、廃棄物を発生する製造現場単位で、それぞれ処理業者に依頼していましたが、効率を上げるため廃棄物の専門組織を作り、処理計画、集計、管理などを一元化しました。

具体的な再資源化の例をご紹介します。アルミ溶湯処理で使用するフィルター(陶磁器製、従来は破碎して埋立処理していた)にアルミニウムが含浸していることに着目し、処理業者に有価売却して、アルミ原料として再利用してもらるようにしました。



\* 長府製造所におけるゼロエミッションの定義:直接・間接埋立比率0.5%未満(間接埋立廃棄物:中間処理後の残渣を埋立処分する廃棄物)  
\* ゼロエミッションとは「産業に投入されるすべての資源を最終製品に活用するか、他の産業、生産工程の付加価値を持たせた資源として活用することを目指す」という考え方のこと。

アルミニウムはもともと軽量で、熱伝導性が高く、さまざまな製品の省エネルギーに貢献するとともに、リサイクルによって省資源化が図れるという長特を持っています。アルミニウム製造においても、今後いっそうの地球環境対策が実施されることが期待されます。

日本アルミニウム協会の環境自主行動計画とフォローアップの内容

報告書区分	管理項目 (計画当初より変化あり)	基準	目標値	2004年度実績
地球温暖化対策編	エネルギー原単位 (GJ/圧延量*1)指数	1995年度を1	2010年度に0.9	0.86
	最終処分(埋立行き)量 [万トン]	(1995年度を2.06)	2010年度に1.70	1.07
廃棄物対策編	アルミドロス 再資源化率[%]	1995年度推定35	2010年度に90	99.3
ISO14001への取組	取得体制の整備	-	~2000年に整備	16事業所全て取得*2

\*1 板材は製品板厚範囲が広く、平均板厚の変化に伴う冷間圧延工程のエネルギー使用量の変化の補正を行うべく分母の生産量を圧延量に置き換え。

\*2 アルミ圧延業6社の全事業所。

また製品の洗浄時に発生する銅含有汚泥を銅精錬の材料として再利用してもらったり、ゴムホースや金属が混じる混合くずを鉄鋼電炉メーカーの原料に使いやすいように所定の荷姿(フレコンバッグ詰めなど)で引き取ってもらえるようにしました。

「どんな廃棄物も資源(商品)になると考え、商品の特徴を生かした再利用をアピールしたことが実を結びました。分別するときも資源として再利用することを前提に、引き取りやすい状態で渡しています」(長府製造所ご担当者)

また、再資源化先、資源化方法などの情報収集や、引き取り先との強い信頼関係を築くという日々の努力があったことも、活動全体を支える基盤となりました。

その結果、廃棄物埋立量は2003年度1,260トンから2005年度47トンに減少、再資源化率は2003年度93.1%から2005年度99.7%に向上し、じつに1億5千万円/年に上るコスト削減効果がありました。また山口県から「エコファクトリー」表彰を受けるなど、地元貢献する活動として大きな注目を集めています。

工場内の廃棄物を一元管理するリサイクルセンター。

溶湯処理で使ったアルミ含浸フィルター。

アルミはく状の塊もアルミ資源として再利用可能になった。



写真撮影/ジュエリーフォト



酸化アルミニウムの結晶(鉱物名:コランダム( $Al_2O_3$ ))は無色透明であるが、これに微量のクロムが混ざるとルビー(写真上)に、微量のチタンや鉄が混ざるとサファイア(写真下)になる。とくに自然界でクロムが混ざるとは稀で、ルビーは希少価値が高い。地球上に3番目に多い元素であるアルミニウムはこの他にもエメラルド、トパーズ、ガーネットなどにも含まれ、宝石と深い関わりがある。(写真撮影/佐々田 俊夫)

きらめく神秘の色彩

## 夏の宝石、秋の宝石

たとえばキャンプリファイヤーの炎

たとえば澄みきつた湖

しばし見つめると目が離せなくなる色がある

自然界の色には人を惹きつけてやまない力を持つものがある

その昔、古代インド人はルビーの中で炎が燃えていると信じたという

その昔、サファイアは病を鎮める力があると信じられていたという

力を秘めた赤と青

その対照的な宝石の色彩は同じ酸化アルミニウムから生まれる

長い年月を経て地中深く形成された酸化アルミニウムの結晶は

ごくわずかな不純物の違いで、目のさめるような赤と青に姿を変える

ルビーの赤は、夏の強い紫外線下で最も美しく輝くといわれ、

夏の宝石と称される

サファイアの青は、神々の嫉妬を抑え秋の実りをもたらすといわれ、

秋の宝石と称される

古代から人々を惹きつけてきた二つの色彩は

自然が生みだしたアルミニウムの芸術である