

日本分析化学会

化学分析技能研究懇談会

Discussion Group of Knowledge and Skills of
Chemical Analysis

ニュースレター Vol.7

❖ 巻頭写真

・ 吸引びん上本 道久

❖ 目次

・ マグネシウムの分析に関わって
思うこと 菊池 鉄男

・ 分析とは何に気づく仕事なのか
ー違和感と誇りー

..... 牧野 将勅

入会はこちらへ

上本 道久 (委員長) / 明星大学

michihisa.uemoto@meisei-u.ac.jp

上原伸夫(会計担当) / 宇都宮大学

ueharan@a.utsunomiya-u.ac.jp

吸引びん

上本 道久



アスピレーター(水流ポンプ)に繋いで、上部にガラスろ過器やマッ
チュエを接続して吸引ろ過を行う時に使う、実験室必需品です。耐圧
ホースでアスピレーターにつながります。

マグネシウムの分析に関わって思うこと

菊池 鉄男

1.はじめに

私はマグネシウムおよびマグネシウム合金の溶解鑄造品、機械加工品を製造する企業に勤めている。本稿ではマグネシウムというニッチな金属に関する産業の現況を簡単にご紹介するとともに、この材料の分析に関わる者としての私見(偏見?)を記してみたい。

2. マグネシウム産業の概況

マグネシウムは、アルミニウムなどの他の金属への「添加材」としての用途や、マグネシウム合金に各種加工、形状を付与し、自動車やポータブル機器部品(ラップトップPC、カメラ、移動性福祉機器など)として用いる「構造材」としての用途が主なものとなっている。これらに比較すると市場規模は小さいが、マグネシウムの化学的活性度(発火性、腐食性など)に着目した製品や、有機化学合成におけるGrignard 反応の原材料などとして利用される。

これら用途の根源となる純マグネシウム地金の世界総製錬量は約100万トンとされている。マグネシウムは地中、海水に資源が豊富ではあるが、鉄(粗鋼)の約18億トン、純アルミニウムの約7000万トンと比べると市場規模は極めて小さい。この100万トンのうち80~90%は中国によるもので、残りは、ロシア、イスラエル、ブラジルなどが商用生産している。中国は後発であったが、鋳物(ドロマイト)を製錬するための官民あがりの設

備投資・増産・国内需要喚起などの方針・政策によって品質向上とコスト低減が進み、現在の地位となっている。かつては本邦でも数社が製錬を手掛けていたが、1990年代には完全に撤退したために全量を輸入しており、現在ではそのうちの約90%を中国品に依存する状況となっている。

表1には、本邦のマグネシウムの需要量の推移を示す。総需要量は3万トン程度と小規模で、そのうち添加材としての用途が70%超、次いで構造材としての用途が20%程度である。これら用途において、前者では純マグネシウムが、後者ではマグネシウム合金が原材料として使用され、品質保証、材料開発のために化学成分を知ることは他の金属と同様に不可欠である。

表1 本邦のマグネシウムの需要量の推移

分類\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ダイカスト	5,100	4,700	5,200	4,900	4,400	4,600
鋳物	190	100	100	100	90	90
射出成形	1,200	960	1,000	1,000	1,100	1,100
展伸材	800	700	800	700	700	900
その他合金	300	200	200	100	100	100
構造材小計	7,590	6,660	7,300	6,800	6,390	6,790
アルミ合金添加	17,000	14,500	16,500	15,000	14,500	14,500
鉄鋼脱硫	4,140	3,000	3,500	3,400	3,080	3,400
ノジュラー鋳鉄	2,700	2,520	2,500	2,600	2,300	1,950
チタン製錬	1,010	1,000	440	725	1,200	900
化学・触媒	1,500	1,350	1,300	1,500	1,400	1,500
添加材小計	26,350	22,370	24,240	23,225	22,480	22,250
防食その他	925	1,000	1,230	1,150	800	800
内需小計	34,865	30,030	32,770	31,175	29,670	29,840
輸出	225	102	140	490	333	290
総需要	35,090	30,132	32,910	31,665	30,003	30,130

(単位：トン/年)

出典：日本マグネシウム協会

3. マグネシウム材料の成分分析と私見

マグネシウム材料の成分分析は他の金属と同様に、湿式法または乾式法で行われる。湿式法としてはサンプルから採取した切粉を硝酸や塩酸で分解し、誘導結合プラズマ発光分光分析（ICP-AES）または原子吸光分析（AAS）で分析され、一部の研究機関ではICP質量分析（ICP-MS）により微量成分を測定することもある。他方、乾式法では分析面を旋盤等で加工したディスク状の固体試料を用いたスパーク発光分光分析（Spark-OES）、または蛍光X線分析（XRF）が製造現場における迅速分析法として位置付けられている。

筆者は学生時代も含めると、マグネシウムに関わって四半世紀、その半々を、内外に分析を依頼する側とされる側で過ごしてきた。その年月を通じて感じた事柄を以下に列記してみようと思う。これらは筆者の狭い活動環境、偏った視点によるものであろうが、読者の皆様からはこれらを好転させるためのお知恵を賜れば幸甚と思い、記すこととした。

①マグネシウムを触りたくない

前述の通り、マグネシウムの市場規模は他の金属と比べると極めて小さい。そのためか、マグネシウムを手にとったことがない技術者がほとんどのである。そういった技術者に「塊でお預けするのでサンプリング(図1のように)からICP-AESでの分析をお願いします」と依頼すると、「マグネシウム？ 燃えるんですよね？ 危なくないんですか？ (社外の場合は特に)会社に許可を取らないと取り扱えないです!! 溶液にしてくれたら分析します。」などの返答をされることが少なくない。マグネシウムリボンの燃焼実験の印象が強いのだろう。確かに、粉状なりボン状のマグネシウムは水とは穏やかに反応して多少の発熱や水素ガスが発生するし（水が多量ならば発熱は気にならない）、意図的に火を近づければ燃え出すことはある（消火に注水は

厳禁。火勢増長)など、身の回りにある金属と比べれば厄介であるのは否定できない。上記のような返答者には「もとの塊が自然発火することはありませんし、切粉に対しては木くず、紙くずと同じように周囲で火を使わなければ大丈夫です。溶液化は酸を少量ずつ添加すれば安全ですよ。」と伝えるも、なかなか受け入れて頂けないのが実情である。燃える可能性のある金属、という特殊性から忌避されるのは致し方ないか…と思う一方で、「手に取ってみる」ことも技術者としては貴重な経験になるのでは、との筆者の身勝手な想いは飲み込みつつ、分析を受諾する機関を探索するのに一苦労することになる。マグネシウムを嫌わずに手に取って下さる技術者が増えることを願うばかりである。

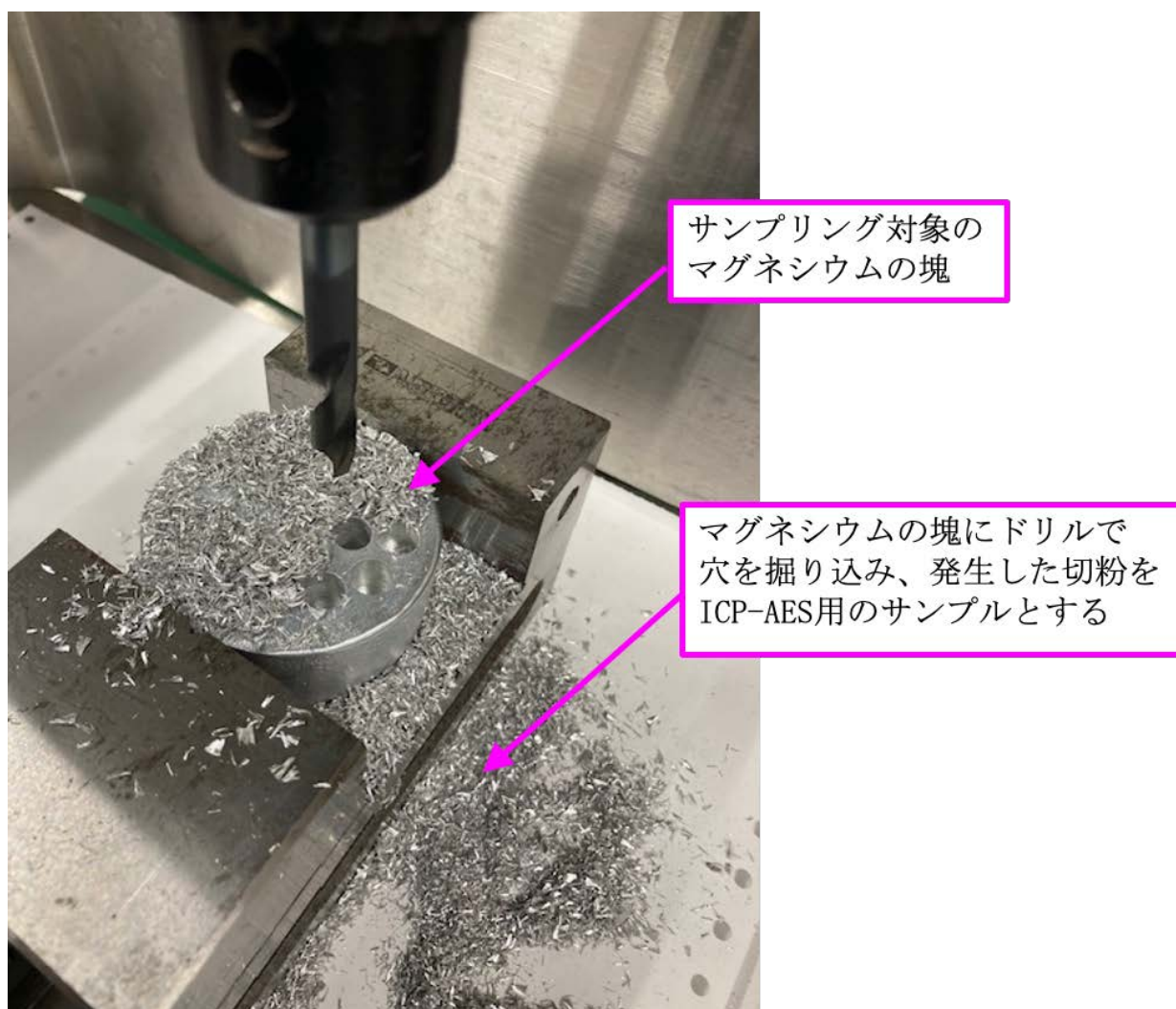


図1 ボール盤を用いたICP-AES用マグネシウムサンプル(切粉)の採取風景

②標準物質が少ない

これも市場規模の小ささが顕著に表れている。Spark-OESは固体試料のまま成分分析を行う方法で、目的成分の濃度範囲で検量線を作成・登録しておけば数分で分析値が得られるため、製造現場では有効な分析方法となっている(図2)。この運用のためには検量線の作成や日々のキャリブレーションとして固体の組成標準物質が必須である。この分析は破壊分析のため、特にキャリブレーション用の標準物質は消耗品となる。これらには市販の標準物質(RM)や認証標準物質(CRM)を用いるのが一般的であるが、マグネシウムのそれらはラインナップが少ない。例えば、ARMI/MBHを取り扱う英国LGC社の2021年のカタログによれば、鉄鋼分野では84ページ分、銅分野では46ページ分、アルミニウム分野では28ページ分にわたってRM、CRMがリストアップされているが、マグネシウムではわずか8ページ分しかない。そのうえ、いざ購入の問い合わせをすると、在庫切れで新規に類似の標準物質を販売する予定はない、と回答されることもしばしばである。

そのため、当社ではマグネシウムの溶解鑄造を事業の一つとしていることもあり、自社で必要な合金を調合・溶製して得たサンプルをICP-AESで値付けをし、所内標準物質(in-house RM)としてSpark-OESに用いることが多い。自社で作製できるため表立った支出を抑制できる利点はあるが、これに要する労力と時間、一連の作業を総合的に対応可能な従業員の育成は、当社のような中小企業ではリソースが限られているため、将来にわたった継続性に不安がある。昨今、XRFでは、標準物質の入手性の困難さを解決する方法の一つとして、標準物質を用いない「スタンダードレスFP法」の開発が進んでいる。当社では上述のような背景から、この方法に注目したことはあるが、マグネシウム合金には $10 \mu\text{g g}^{-1}$ 程度のベリリウムを含む合金種が多く、XRFではこのような軽元素かつ微量含有量の定量は困難であったため、XRFの採用を断念した経緯がある。また、FP法は一種のシミュレーション法であり、定量値として扱うのに相応であるかは議論が分かれる。ともあれ、当社としてはSpark-OESと標準物質との関りはしばらく継続しそうであるから、マグネシウムにおいても他の金属のように標準物質の入手性が向上することを期待したい。

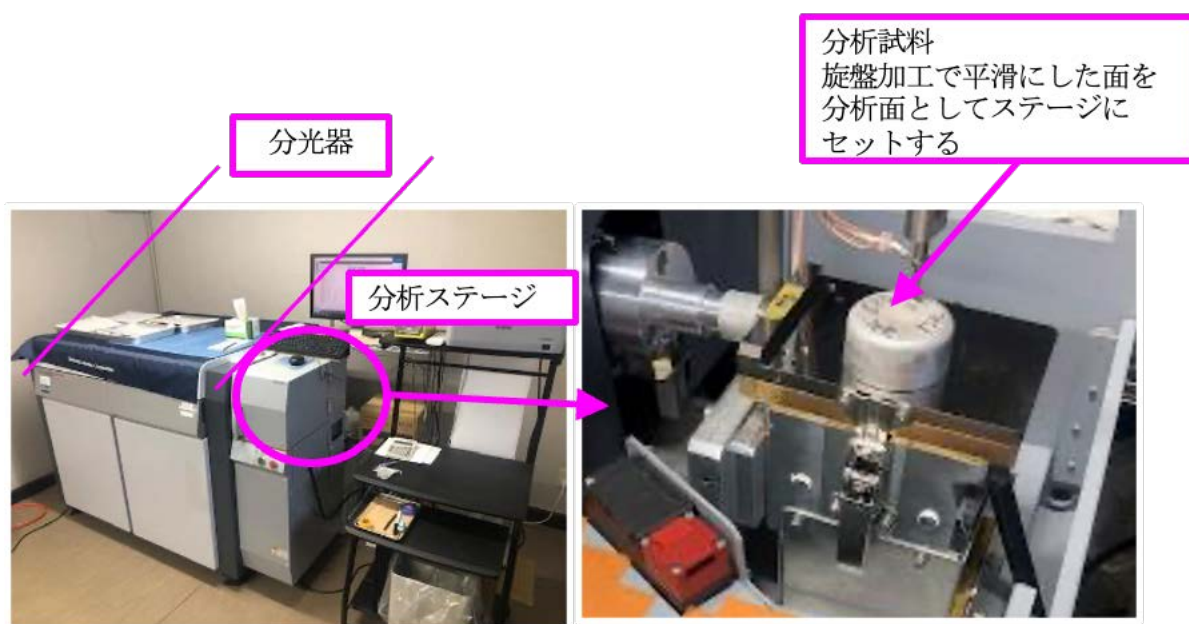


図2 Spark-OESの装置外観(左)と分析ステージ(右)

③共同分析への参画試験所が少ない

当社が会員として加入している日本マグネシウム協会(JMA)には「分析委員会」が組織されており、大学、公設試、企業からのメンバーにより運営されている(委員長: 明星大学 上本教授)。主な活動内容はマグネシウムおよびマグネシウム合金の成分分析方法の国内標準(JIS)、国際標準(ISO)の開発で、最近では委員会内で開発された方法をISOへの提案、登録に関する活動が盛んである。なお、上本教授におかれては当委員会のとりまとめと、ISOの国際会議では日本代表として海外団体との折衝に骨を折って下さっていることに、この場をお借りして御礼申し上げたい。さて、開発の実務としては複数試験所による共同分析が主体となっており、適した方法を選定し、共通の試料と方法で得た定量値の評価と議論が行われる。最近ではマグネシウム中の希土類元素(6成分)や微量塩化物の定量分析など、極めて難度の高い分析方法の開発を試行錯誤しつつ取り組んでいる。分析方法の開発と標準化にあたっては、その妥当性、信頼性を高めるためには試験所数が多い方が望ましいことは言うまでもないが、残念ながら、参画する試験所は決して多くはない。これはJMAの会員数の少なさが最大の要因とも言えるが、昨今の本邦における分析技術者の減少も一因ではなかろうかと考える。筆者は自身の知識と経験の積み上げ、答え合わせの場として有意義な場であると感じつつ参加しているが、読者の皆様方におかれましても、ご興味あれば当委員会が実施している共同分析への参加を願う次第である。

表2 ISO162220 : 2017 “Magnesium and magnesium alloys —Magnesium alloy ingots and castings” に掲載の27合金種からの一部抜粋

Material designation			Composition % mass fraction																	
Designation by symbols	Designation by numbers	ASTM designation	Min. or max.	Mg	Al	Zn	Mn	RE	Zr	Ag	Y	Gd	Li	Sr	Ca	Si	Fe	Cu	Ni	Other each
ISO-MgAl9Zn1(B)	ISO-MB21121	AZ91	min. max.	Rem.	8,0 10,0	0,3 1,0	0,1 0,50									0,3 0,03	0,03	0,020	0,01	0,05
ISO-MgAl2Si	ISO-MB21310	AS21	min. max.	Rem.	1,9 2,5	– 0,20	0,2 0,6									0,7 1,2	– 0,004	– 0,008	– 0,001	– 0,01
ISO-MgAl4RE4	ISO-MB21410	AE44	min. max.	Rem.	3,6 4,4	– 0,20	0,15 0,50	3,6 4,6								0,08	0,004	0,008	0,001	0,01
ISO-MgAl-6Ca2RE2	ISO-MB25120	AE62	min. max.	Rem.	6,1 6,7	– 0,4	0,13 0,35	2,2 2,8							2,0 2,4	– 0,08	– 0,004	– 0,05	– 0,001	– 0,01
ISO-MgAl-6Ca2Sr	ISO-MB25130	AX62	min. max.	Rem.	5,7 6,4	– 0,10	0,30 0,40							0,22 0,30	1,8 2,3	– 0,10	– 0,004	– 0,001	– 0,001	– 0,01
ISO-MgZn-6C 3Mn	ISO-MB32110	ZC63	min. max.	Rem.	– 0,2	5,5 6,5	0,25 0,75									– 0,20	– 0,05	2,4 3,0	– 0,01	– 0,01
ISO-MgAg2RE2Zr	ISO-MB65210	QE22	min. max.	Rem.	– 0,2	– 0,15	2,0 3,0	0,1 1,0	2,0 3,0							– 0,01	– 0,01	– 0,03	– 0,005	– 0,01
ISO-MgY5RE4Zr	ISO-MB95310	WE54	min. max.	Rem.	– 0,2	– 0,15	1,5 4,0	0,1 1,0		4,75 5,5			– 0,2			– 0,01	– 0,01	– 0,03	– 0,005	– 0,01
ISO-MgGd10Y3Zr	ISO-MB69120	VW103	min. max.	Rem.	– 0,2	– 0,05	– 0,05	0,3 1,0		2,5 3,5	8,5 10,5					– 0,01	– 0,01	– 0,03	– 0,005	– 0,01
ISO-MgRE3Gd1Zr	ISO-MB65410	EV31	min. max.	Rem.	– 0,20 0,50	– 0,03	2,6 3,1	0,1 1,0	– 0,05		1,0 1,7					– 0,01	– 0,01	– 0,002	– 0,01	– 0,01

RE = rare earth elements.

Cerium-rich.

Neodymium-rich.

Neodymium and heavy RE-rich.

Neodymium is 2,6 % to 3,1 %; other rare earth metals may also be present to a maximum of 0,4 %.
These RE shall principally be cerium, lanthanum and praseodymium.

注記；希土類元素単体を合金に添加する場合は単独の元素記号 (上表ではY、Gd)で表記されるが、“ミッシュメタル(Mischmetall)”と呼ばれる複数希土類の混合物を用いて、その含有量総量を合金成分とみなす場合は、REとしてまとめることが多い。

4.おわりに

マグネシウムはニッチであるがゆえに人跡未踏の領域が残る金属材料とも言えるため、読者の皆様には拙稿を機にマグネシウムに興味を持って頂けたら幸いである。特に密度が1.74 g/cm³ゆえの高比強度を活かし、自動車や航空機など、輸送機器の低燃費に寄与する「カーボンニュートラル構造材」としての合金開発、用途開発は注目されている。その状況を映すように、表2に示すような多種多様の化学成分を含む合金種がISOには登録されており、規格が改訂される度に合金種が追加登録されている。また、生体・医療分野においては、「生体吸収性デバイス」としてマグネシウムが注目されており、整形外科分野(骨接合)及び循環器・血管外科分野(ステント)等への応用が期待されている。これはインプラントされたマグネシウムが体内で分解吸収され最終的に生体組織と一体化することを期待しており、これによりインプラントの摘出手術を回避し、患者の精神的・肉体的負担を軽減することを目的とした開発である。これらの開発・品質保証の基盤となる分析技術の環境整備、標準化はより一層の重要性を増すと言えよう。筆者自身、微力でもその一助を担えればと思うし、これに賛同して下さる仲間が増えることを願うばかりである。

[きくち てつお 中央工産株式会社 小山工場]

分析とは何に気づく仕事なのか

—違和感と誇り—

牧野 将勅

分析の現場では、日々さまざまな試料と向き合いながら、多様な手法を駆使して分析結果を導き出しています。しかし、手順書どおりに進めているはずなのに結果が揃わない、あるいは予想していなかった値が得られることがあります。こうした経験は、分析に携わる多くの技術者にとって決して珍しいものではないでしょう。このような場面に直面したとき、改めて考えさせられるのは「分析とは何に気づく仕事なのか」という点です。手順を再現するだけであれば、装置や標準化された操作に任せることもできます。しかし、実際の現場には、それだけでは捉えきれない微妙な違いが確かに存在します。試料の取り扱いや前処理のわずかな差、環境の変化、あるいは自分自身の思い込みや慣れによる見落とし。そうした要素が積み重なり、結果に影響を及ぼすことがあります。そして多くの場合、その兆候は大きな異常として現れるのではなく、「何か違う」という小さな違和感として現れます。だからこそ、普段とのわずかな違いに気づいたときに立ち止まり、その原因を考えることが重要です。その過程を通じて、分析結果の信頼性向上につながるだけでなく、分析作業への理解がより深まることも少なくありません。このような「違和感に気づき、立ち止まって考える」経験を重ねる中で、分析とは単に数値を得るための作業ではなく、その背後で起きている現象を理解しようとする営みであることが重要だと考えるようになりました。

ここで、金属などを対象とした無機化学分析における「違和感に気づく感性」の重要性を示す事例を紹介します。無機化学分析は、一般に「試料のサンプリング→秤量→分解（溶液化）→分離・濃縮→測定」という工程を経て進められます。この一連のプロセスには、分析の品質や信頼性を高めるための多くの“気づき”の機会が存在します。

例えば、金属試料を酸で分解する際、発泡の様子や溶解の進み方がいつもと異なる、不溶解残渣の量や色が普段と違うといった小さな変化に気づくことがあります。ろ過工程においても、ろ過速度や残渣の状態から試料の特徴を読み取れる場合があります。

測定段階では、ICP発光分光分析装置のプラズマの揺らぎ方や原子吸光分析装置のフレームの状態、さらには試料溶液の消費速度などに、わずかな違和感を覚えることがあります。こうした変化は、装置の異常や試料特性の変化を示す兆候であり、早期のトラブル発見につながる場合があります。

また、分析結果の確認時にも感性は重要です。測定値自体に問題がなくても、過去データとの傾向の違いや組成バランスに違和感を覚え、再確認した結果、試料の取り違いや計算ミスが発見されることがあります。分析技術者に求められるのは、数値だけを追うのではなく、試料や装置、結果が発する小さなサインを見逃さないことです。こうした「何か違う」と感じ取る感性こそが、分析の信頼性を支える重要な力だと考えています。

一方で、分析という仕事は、その価値が日常の中では見えにくい側面もあります。自分が関わった分析結果がどのように活用され、社会や産業を支えているのかを実感する機会は、決して多くありません。しかし、例えばスマートフォンやパソコンに使われる先端材料、街中を走る自動車や鉄道、さらには巨大な建造物や橋梁などを目にしたとき、それらが安全かつ安定して利用できる背景には、材料の品質を支える分析技術があることに思い至ります。そのたびに、分析という仕事が社会基盤を支える重要な役割を果たしていることを実感します。少し大げさかもしれませんが、子供に「これがあるのは、お父さんが分析したからだよ」と言えたなら、それは分析技術者としてひとつの誇りではないかと思います。分析という仕事は表には出にくいものの、確かに社会の基盤を支えている。その自覚と責任こそが、日々の業務と向き合う上での支えになります。こうした視点に立つと、現場で感じる違和感や気づきは、単なる個人の感覚ではなく、より精確な分析値を社会に届けるための重要な要素であるといえます。こうした感度や判断力は、日々の業務の中で少しずつ磨かれていくものです。また、分析の現場では、一人で考えるだけでは得られない気づきが、議論や意見交換の中から生まれることがあります。自分では見落としていた視点に触れることで理解が深まり、新たな発見につながることも少なくありません。そのような経験の積み重ねが、分析の質を高める原動力になっていると実感しています。

分析という仕事は、原理原則の理解と状況判断を含む、複合的な技能の積み重ねによって成り立っています。そして、その一つひとつの判断が、社会の基盤を支える確かな分析値へとつながっています。だからこそ、目に見える結果だけでなく、その背景にある違和感や問いを大切にしながら、日々の分析と向き合うことが重要です。繰り返しになりますが、分析の仕事は、決して表に出ることが多い仕事ではありません。それでも、私たちが向き合う一つひとつの分析値は、製品の品質や安全、さらには社会の信頼を支える力になっています。その役割を自覚し、互いの経験や気づきを共有しながら、分析技術者としての感度と技能を磨き続けていきたいと思っています。

[まきの まさのり (株)コベルコ科研技術本部 化学分析センター 評価分析部 高砂分析室]

原稿を募集します

会員内外の読者からの寄稿をお待ちしています。無機・有機化学分析に関わるノウハウ、工夫、疑問点、提言など、またそれ以外でも、積極的に編集事務局（上本）までお寄せください。



巻頭写真を募集します

会員内外の読者からの巻頭写真を募集します。化学分析で使われる装置・器具やその使用方法など、何か面白い写真はありますか。どしどし編集事務局（上本）までお寄せください。

